



**Dário
Oliveira Carvalho**

**Escolha de Rotas - Influência da hora de ponta nos
consumos e emissões**



**Dário
Oliveira Carvalho**

**Escolha de Rotas - Influência da hora de ponta nos
consumos e emissões**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Professor Doutor Fernando José Neto da Silva

Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Orientadora

Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho

Professora auxiliar convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva

Professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Agradecimentos

Este espaço é particularmente reservado para dar uma palavra de apreço a todos os que estiveram direta e indiretamente envolvidos nesta dissertação.

Gostaria de agradecer à Toyota Salvador Caetano pela viatura cedida pois prestou um grande contributo para este trabalho, assim como gostaria de agradecer também à Dr^a Mafalda Gomes toda a disponibilidade e boa vontade para a solicitação do veículo durante as várias semanas.

Gostaria de deixar um grande obrigado ao Jorge Bandeira pela sua imensa colaboração neste trabalho e pela sua inesgotável disponibilidade tanto para a parte experimental como para a parte teórica da presente dissertação.

Agradeço sinceramente à Professora Doutora Margarida Coelho, orientadora da dissertação, por toda a disponibilidade, exigência e confiança que depositou em mim que contribuiu para chegar a esta “meta”.

A todos os meus amigos e família que sempre me apoiaram e continuam a apoiar, dedico este trabalho.

Palavras-Chave

Emissões de poluentes, escolha de rotas, potência específica do veículo, hora de ponta, congestionamento

Resumo

Uma das principais preocupações actuais no setor dos transportes é a diminuição das emissões de poluentes e para tal pode-se recorrer a uma melhoria na eficiência dos motores de combustão ou recorrer a outro método de propulsão, a combustíveis alternativos ou ainda recorrer à selecção de rotas menos penalizadoras de um ponto de vista ambiental. A selecção de rotas é um tema importante uma vez que é destacado no livro branco (White paper) dos transportes publicado em março de 2011 pela Comissão Europeia onde se reforça que a escolha de rotas é uma das formas da redução de consumos e emissões.

A presente Dissertação tem a finalidade de verificar o impacto do período de ponta na selecção de rotas ao nível das emissões de poluentes. Encontra-se inserida no âmbito de um projeto de investigação intitulado “SMARTDECISION: Sistema Inteligente de Suporte à Decisão de Percursos para uma Melhor Qualidade do Ar em Áreas Urbanas” financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

A fase inicial deste trabalho consistiu na obtenção de dados dinâmicos do veículo obtidos por um dispositivo GPS a bordo de duas viaturas (*Toyota Yaris* e *Opel Corsa*). Seguidamente foram calculadas as emissões totais de CO₂, CO, NO_x e HC através da aplicação da metodologia baseada no conceito de potência específica do veículo (*Vehicle Specific Power* - VSP). Os casos de estudo foram as vias rodoviárias da zona urbana de Aveiro e entre as cidades de Aveiro e do Porto.

É de destacar que, tanto os percursos citadinos como os interurbanos que se afiguram mais eficientes do ponto de vista das emissões fora do período de ponta, também o são no período de ponta. Concluiu-se ainda que o período de ponta, comparativamente com o período de não ponta, afecta as emissões em percursos suburbanos efetuados em autoestrada até cerca de 11%, em contraponto às estradas nacionais que podem aumentar até cerca de 7%. Já os percursos em cidade podem resultar num aumento de emissões até cerca de 18%.

keywords

Pollutant emissions, route choice, vehicle specific power, peak hour, traffic congestion

Abstract

One of the main current concerns in the transportation sector is the reduction of pollutants emissions and this can be connected to: 1) an improvement in the efficiency of combustion engines; 2) the use of another propulsion method or alternative fuels; or 3) correct route selection. Route choice is an important theme once it is highlighted in the White paper for transport published by the European Commission in March 2011, where it is mentioned that route choice is one promising way to reduce fuel consumption and emissions.

This thesis aims to determine the effect of route selection in the peak period on emissions. The developed work is included within a research project entitled "SMARTDECISION: Intelligent System for Decision Support Courses for Better Air Quality in Urban Areas" funded by the Portuguese Science and Technology Foundation.

The first phase of this research was to collect dynamic data of vehicles using a GPS device in two vehicles (Opel Corsa and Toyota Yaris). Then total emissions of CO₂, CO, HC and NO_x were calculated applying the methodology "Vehicle Specific Power" (VSP). The case studies were the road network in the urban area of Aveiro, and between the cities of Aveiro and Porto.

The main conclusion is that the urban and interurban routes that appear to be more efficient in terms of emissions outside the peak period are also the more efficient in peak periods. It was also concluded that the peak period affects emissions in suburban highway in about 11% as opposed to the national roads that can increase emissions to about 7%. Urban routes can result in a emissions increase of 18%.

Índice

Índice de figuras.....	3
Índice de Tabelas	6
Lista de abreviaturas	8
1. Introdução e Objetivos	10
1.1. Motivação	10
1.2. Objetivos	13
1.3. Estrutura da Dissertação.....	14
2. Revisão Bibliográfica	16
2.1 Monitorização e seleção de rotas	16
2.2 Impacte do Congestionamento na seleção de rotas	18
2.3 Modelo Microscópico de Emissões	20
3. Metodologia.....	22
3.1 Equipamento GPS (MobPharos GPS CM0609 e Qstarz BT-1000 XT).....	23
3.2 Viaturas de testes.....	25
3.3 Caracterização dos Trajetos.....	27
3.3.1 Circuito Urbano de Aveiro.....	28
3.3.2 Circuito Aveiro-Porto	33
3.4 Potência específica do veículo (<i>VSP-“Vehicle Specific Power”</i>)	36
3.5 Horários de Ponta.....	45
4. Resultados e Discussão.....	48
4.1 Comparação de dispositivos	48
4.2 Resultados em hora de ponta	49
4.2.1 Circuito Urbano de Aveiro em hora de ponta	49
4.2.2 Influência do comportamento do condutor e veículo no CUA	62
4.2.3 Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta	64
4.2.4 Influência do comportamento do condutor e do veículo no CAP	76
4.3 Comparação de Resultados Hora de ponta vs. Vazio	77
4.3.1 Comparação Circuito Urbano de Aveiro	77
4.3.2 Comparação do Circuito Aveiro-Porto.....	84
5. Conclusões e trabalho Futuro	92
6. Referências Bibliográficas.....	94
Anexos.....	98

Índice de figuras

Figura 1- Emissões mundiais de dióxido de carbono a nível mundial em 2008 (IEA,2011).	10
Figura 2-Estrutura setorial das emissões de GEE em 1990 e em 2010. (APA,2008).....	11
Figura 3 - Fluxograma da estrutura da dissertação.	15
Figura 4 - Ilustração da Metodologia da Dissertação.....	23
Figura 5-MobPharos GPS CM0609.....	24
Figura 6-Qstarz BT-1000 XT.	24
Figura 7 - Toyota Yaris.....	25
Figura 8 - Opel Corsa.....	26
Figura 9 - Montagem do tripé e máquina de filmar no interior do veículo.	28
Figura 10 - Colocação do GPS.	28
Figura 11 - Rotunda da Universidade de Aveiro.....	29
Figura 12 - Rotunda da Taboeira.	29
Figura 13 - Trajeto 1 do Circuito Urbano de Aveiro. (Google Inc., 2011).....	30
Figura 14 - Trajeto 2 do Circuito Urbano de Aveiro. (Google Inc, 2011).....	31
Figura 15 - Trajeto 3 do Circuito Urbano de Aveiro. (Google Inc, 2011).....	32
Figura 16 - Rotunda do Amial.	33
Figura 17 - Ilustração dos trajetos do Circuito Aveiro-Porto. (Almeida, 2010)	35
Figura 18 - Relação entre valores VSP e emissões de HC (NCSU, 2002)	37
Figura 19- Relação entre valores VSP e emissões de NO _x (NCSU, 2002)	37
Figura 20- Relação entre valores VSP e emissões de CO (NCSU, 2002)	38
Figura 21-Relação entre valores VSP e emissões de CO ₂ (NCSU, 2002).....	38
Figura 22-Taxas de emissão média de HC por modo VSP para veículos a gasolina <3,5 L. (NCSU,2002)	40
Figura 23-Taxas de emissão média de NO _x por modo VSP para veículos a gasolina <3,5 L. (NCSU,2002)	41
Figura 24-Taxas de emissão média de CO por modo VSP para veículos a gasolina <3,5 L. (NCSU,2002)	41
Figura 25-Taxas de emissão média de CO ₂ por modo VSP para veículos a gasolina <3,5 L. (NCSU,2002)	42
Figura 26 - Taxas de emissão média modal de CO ₂ para Skoda Octavia TDI. (Coelho et al.,2009)	43
Figura 27 - Taxas de emissão média modal de CO para Skoda Octavia TDI. (Coelho et al.,2009)	43
Figura 28 - Taxas de emissão média modal de NO _x para Skoda Octavia TDI. (Coelho et al.,2009)	44
Figura 29 - Taxas de emissão média modal de HC para Skoda Octavia TDI. (Coelho et al.,2009)	44
Figura 30- Distribuição das viagens dos dias úteis pelas horas de início e fim. (INE,2000)	45
Figura 31 - Perfil semanal de tráfego. (Soares et al. 2008)	46
Figura 32 - Perfil diário de tráfego. (Soares et al. 2008)	46
Figura 33-Diferenças entre aparelhos GPS do CAP T2.	48
Figura 34 - Diferenças entre aparelhos GPS do CAP T3.	49
Figura 35 - Perfil de velocidade e emissões do CUA T1 em hora de ponta (Taboeira-UA).	50
Figura 36 - Fila intensa derivada de sinalização luminosa na rua <i>Condessa Mumadona</i>	51

Figura 37 - Perfil de velocidade e emissões CO ₂ no CUA T2 em hora de ponta (Taboeira-UA).	51
Figura 38 - Presença de fila na aproximação de rotunda.....	52
Figura 39 - Sinalização luminosa na avenida da Universidade.	52
Figura 40 - Perfil de velocidade e emissões do CUA T2 em hora de ponta (UA-Taboeira).	53
Figura 41 - Congestionamento na aproximação de Rotunda no trajeto CUA T2 (UA-Taboeira).	53
Figura 42 - Perfil de aceleração e emissões CO ₂ do CUA T2 (UA-Taboeira).	54
Figura 43 - Perfil de velocidade e emissões CO ₂ do CUA T3 (UA-Taboeira).	55
Figura 44 - Sinalização luminosa no cruzamento da avenida 5 de Outubro (junto ao tribunal de Aveiro).....	55
Figura 45 - Sinalização luminosa junto do cruzamento de Esgueira.....	56
Figura 46 - Perfil de Aceleração e emissões CO ₂ do CUA T3 (UA-Taboeira).....	56
Figura 47 - Emissões médias totais de CO ₂ para o Circuito Urbano de Aveiro em hora de ponta.	57
Figura 48 - Emissões médias totais de CO para o Circuito Urbano de Aveiro em hora de ponta.	57
Figura 49 - Emissões médias totais de NO _x para o Circuito Urbano de Aveiro em hora de ponta.	58
Figura 50 - Emissões médias totais de HC para o Circuito Urbano de Aveiro em hora de ponta.	58
Figura 51 - Emissões médias de CO ₂ por quilómetro no circuito urbano de Aveiro em hora de ponta.	59
Figura 52 - Emissões médias de CO por quilómetro no circuito urbano de Aveiro em hora de ponta.	60
Figura 53 - Emissões médias de NO _x por quilómetro no Circuito urbano de Aveiro em hora de ponta.	60
Figura 54 - Emissões médias de HC por quilómetro no Circuito urbano de Aveiro em hora de ponta.	61
Figura 55 - Evolução dos tempos de percurso no CUA nas horas de ponta da manhã e da tarde.	62
Figura 56 – Distribuição média de modos VSP para CUA T3 para em função do condutor e veículo	63
Figura 57 - Perfil de velocidade e emissões de CO ₂ do CAP T1 em hora de ponta.	64
Figura 58 - Perfil de velocidade e emissões de CO ₂ do CAP T2 (UA-AMIAL) em hora de ponta..	65
Figura 59 - Perfil de velocidade e emissões de CO ₂ do CAP T3 em hora de ponta.	67
Figura 60 - Para-arranca na VCI junto à subida do estádio do dragão no percurso CAP T3 (UA-Amial).	68
Figura 61 - Perfil de velocidade e emissões de CO ₂ do CAP T4 (UA-Amial) em hora de ponta. ...	68
Figura 62 - Congestionamento no acesso à A1 na zona de Gaia no CAP T4.	69
Figura 63 - Emissões médias totais de CO ₂ para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.....	69
Figura 64 - Emissões médias totais de CO para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.	70
Figura 65 - Emissões médias totais de NO _x para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.	70
Figura 66 - Emissões médias totais de HC para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.	71
Figura 67 - Emissões médias de CO ₂ por quilómetro para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.	72

Figura 68 - Emissões médias de CO por quilómetro para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.	73
Figura 69 - Emissões médias de NO _x por quilómetro para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.	73
Figura 70 - Emissões médias de HC por quilómetro para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.	74
Figura 71 - Duração dos percursos do Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.	75
Figura 72 - Comparação do tempo entre ambas as horas de ponta no Circuito Aveiro-Porto. ...	76
Figura 73 - Distribuição de modos VSP para CAP T4 para diferentes situações.	77
Figura 74 - Perfil de velocidades na hora de vazio e hora de ponta do percurso CUA T1 (TAB-UA).	78
Figura 75 - Perfil de velocidades na hora de vazio e hora de ponta do percurso CUA T2 (UA-TAB).	79
Figura 76 - Perfil de velocidades na hora de vazio e hora de ponta do percurso CUA T3 (UA-TAB).	80
Figura 77 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões CO ₂ dos percursos CUA no sentido UA-Taboeira.	81
Figura 78 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões CO dos percursos CUA no sentido UA-Taboeira.	81
Figura 79 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões NO _x dos percursos CUA no sentido UA-Taboeira.	82
Figura 80 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões HC dos percursos CUA no sentido UA-Taboeira.	82
Figura 81 - Duração dos percursos CUA em hora de ponta e hora e de vazio e sua variabilidade.	83
Figura 82 - Perfil de velocidades da hora de ponta e hora de vazio do percurso CAP T1 (sentido UA-Amial).	84
Figura 83 - Perfil de velocidades da hora de ponta e hora de vazio do percurso CAP T2 (sentido UA-Amial).	85
Figura 84 - Congestionamento na transição da A44 e A1 do percurso CAP T2 (UA-Amial).	85
Figura 85 - Congestionamento na VCI junto à saída da Arrábida do CAP T2 (UA-Amial).	86
Figura 86 - Perfil de velocidades da hora de ponta e hora de vazio do percurso CAP T3 (sentido UA-Amial).	86
Figura 87 - Perfil de velocidades da hora de ponta e hora de vazio do percurso CAP T4 (sentido UA-Amial).	87
Figura 88 - Comparação de emissões de CO ₂ entre hora de vazio e hora de ponta para os percursos CAP.	88
Figura 89 - Comparação de emissões de CO entre hora de vazio e hora de ponta para os percursos CAP.	88
Figura 90 - Comparação de emissões de NO _x entre hora de vazio e hora de ponta para os percursos CAP.	89
Figura 91 - Comparação de emissões de HC entre hora de vazio e hora de ponta para os percursos CAP.	89
Figura 92 - Duração dos percursos CAP em hora de ponta e hora e de vazio com erro de 95% numa distribuição normal.	91

Índice de Tabelas

Tabela 1-Calendarização de tarefas.....	22
Tabela 2-Especificações do Toyota <i>Yaris</i> (Toyota Motor Marketing Europe, 2010).....	26
Tabela 3 - especificações do Opel Corsa. (Carfolio, 2011)	26
Tabela 4 – Caraterísticas das rotas do CUA.....	32
Tabela 5 - Caraterísticas das rotas do CAP.	35
Tabela 6 - Total de testes efetuados.....	36
Tabela 7-Definição dos modos VSP.....	39
Tabela 8 - Comparação percentual emissões totais dos circuitos CUA em hora de ponta (base: CUA T1=0).....	59
Tabela 9 - Comparação percentual emissões por quilómetro dos circuitos CUA em hora de ponta (base: CUA T3=0).	61
Tabela 10 - Durações médias (em minutos) dos Circuitos Urbanos de Aveiro em hora de ponta.	62
Tabela 11 - Comparação percentual da mudança de condutor e veículo para CUA.	63
Tabela 12 - Comparação relativa de duração do trajeto CAP T2 face às alternativas. (Almeida, 2010)	65
Tabela 13 - Dados dos meses de Outubro de 2009 e 2010 da Autoestrada A29. (INIR,2010)....	66
Tabela 14 - Dados dos meses de Outubro de 2009 e 2010 da Autoestrada A1. (INIR,2010).....	66
Tabela 15 - Comparação percentual de emissões totais dos percursos do CAP em hora de ponta (base: CAP T3=0).....	71
Tabela 16 - Comparação percentual de emissões por quilómetro dos percursos do CAP em hora de ponta (base: CAP T4=0)	74
Tabela 17 - Durações médias (em minutos) do circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.	74
Tabela 18 - Comparação percentual da mudança de condutor e veículo para CAP.....	76
Tabela 19 - Comparação percentual dos percursos em hora de ponta e hora de vazio no Circuito Urbano de Aveiro no sentido UA-Taboeira.	83
Tabela 20 - Comparação percentual dos percursos em hora de ponta e hora de vazio no Circuito Aveiro-Porto.	90

Lista de abreviaturas

AE – Autoestrada

AMP- Área Metropolitana do Porto

CAP – Circuito Aveiro-Porto

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

CUA – Circuito Urbano de Aveiro

GEE- Gases de Efeito de Estufa

HC - Hidrocarbonetos

NO_x – Óxidos de Azoto

PIB – produto Interno Bruto

PIBpm- Produto Interno Bruto a preços de mercado

PNAC- Programa Nacional de Alterações Climáticas

SCUT – Sem Custo para o Utilizador

TC- Transporte Coletivo

TI – Transporte Individual

VCI – Via de Cintura Interna

VSP – *Vehicle Specific Power* (potência específica do veículo)

1. Introdução e Objetivos

1.1. Motivação

Ao longo das últimas décadas têm-se verificado constantes alterações climáticas a nível mundial devido ao aquecimento global. Apesar de não existirem provas irrefutáveis, a comunidade científica internacional aponta para que existam fortes responsabilidades das atividades humanas no fenómeno do aquecimento global. Este constitui um problema a nível mundial pelo que pela primeira vez, em 1988 houve uma reação internacional à escala global no Painel Intergovernamental sobre alterações climáticas. Mais tarde, foi ratificado o protocolo de Quioto que visa diminuir as emissões de gases de efeito de estufa (GEE) a nível global, em 8% no primeiro período de cumprimento do protocolo (2008-2012) face ao ano de 1990. (APA 2004)

Como é visível na figura abaixo, a nível mundial, o setor dos transportes é responsável por 22% das emissões de Dióxido de Carbono no ano de 2008 (IEA, 2011). Assim sendo, para este setor têm de ser encontradas soluções construtivas para a redução dos GEE.

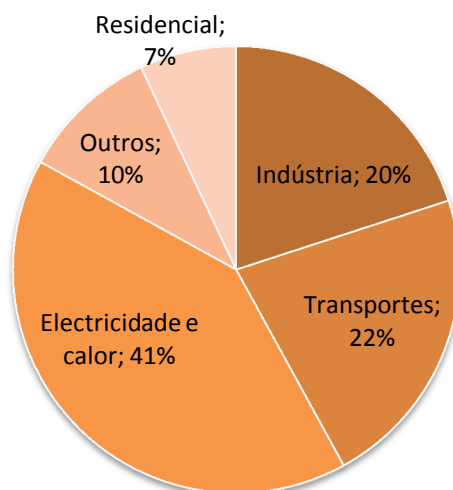


Figura 1- Emissões mundiais de dióxido de carbono a nível mundial em 2008 (IEA,2011).

Após o Protocolo de Quioto, a Europa fixou um compromisso de redução nas emissões dos GEE em 8%, redução esta que conta com a partilha de responsabilidades de cada um dos seus estados membros (APA, 2004). Em consequência, Portugal obrigou-se a limitar o aumento das suas emissões dos GEE em 27% face aos valores de 1990 (APA, 2004). Para levar a cabo este

cumprimento foi criado, no ano de 2006, o programa nacional de alterações climáticas (PNAC) que tem como objetivo estabilizar a concentração de GEE na atmosfera a um nível que evite uma interferência antropogénica perigosa para com o sistema climático. O PNAC 2006 avalia o compromisso de Portugal face ao primeiro período de cumprimento do Protocolo de Quioto, ou seja, sistematiza estimativas de projeção de emissões de GEE para as parcelas do balanço nacional líquido de emissões de GEE gerados no território nacional para o ano de 2010 (assumido como ano médio entre 2008 e 2012).

No relatório de síntese do PNAC 2006 verifica-se um aumento de 46% do PIBpm face ao ano base de 1990 que tem associado um aumento do consumo de energia primária de 68% e de emissões de GEE de 47%, facto que ilustra a baixa eficiência energética do produto nacional (APA,2004). É possível também constatar que foi no setor dos transportes que as emissões de GEE mais aumentaram (figura 2) e no cenário de referência previa-se que houvesse um aumento de 110% face a 1990. No setor dos transportes, os veículos rodoviários são os que mais contribuem com um peso de cerca de 96% e estimou-se um aumento de emissões de GEE de 115% também face ao ano de referência (APA,2008).

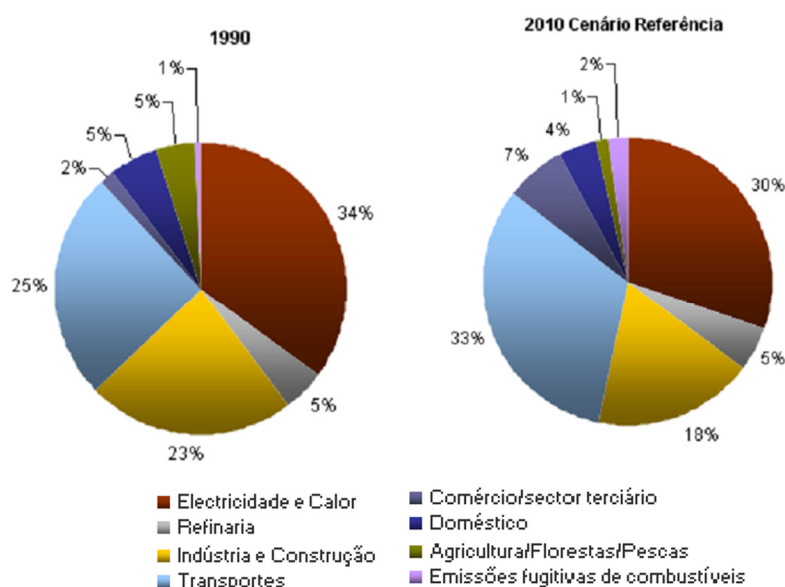


Figura 2-Estrutura setorial das emissões de GEE em 1990 e em 2010. (APA,2008)

Considerando os valores acima referidos conclui-se que nos encontramos numa situação um pouco delicada e têm de ser levadas a cabo algumas medidas. Como tal, esta é uma área de muita importância pelo que deviam ser promovidos mais estudos e investigações para haver uma melhoria de eficiência energética no setor dos transportes.

Com a grande afluência ao transporte individual (TI), com 70% dos veículos a circular apenas com o condutor e com o aumento da ocupação do solo pelas áreas urbanas, o congestionamento é facultado aumentando o consumo energético médio por cada deslocação o que resulta num aumento de consumos e emissões. O congestionamento é um problema que tem consequências económicas e ambientais tais como (Vitorino, 2007):

- ✓ Perda de tempo produtivo;
- ✓ Atrasos na distribuição de mercadoria;
- ✓ Redução das velocidades dos TC's;
- ✓ Aumento de emissões;
- ✓ Ocupação ineficiente do espaço urbano;
- ✓ Poluição atmosférica representa cerca de 1 a 2% do PIB;
- ✓ Perda anual de 500 mil milhões de euros nos países desenvolvidos;

Todos os fatores referidos anteriormente estimulam a escolha do tema da presente Dissertação de Mestrado pois é necessário atuar impulsivamente no setor dos transportes. Pelos dados anteriores observou-se que o TI tem maior afluência por parte da população fazendo assim com que a escolha de rotas seja algo importante particularmente durante as horas de maior tráfego. A análise de caminhos alternativos entre uma eventual partida e chegada afigura-se relevante de modo a que o utilizador selecione a rota que esteja associada a um menor nível de congestionamento, consumos e emissões. Um primeiro passo no sentido de reduzir as emissões seria o incentivo ao transporte coletivo (TC) diminuindo assim o elevado número de automóveis que todos os dias circulam nas cidades causando congestionamento e desperdiçando assim grandes quantidades de energia. Este mesmo passo deveria ser integrado com um ordenamento inteligente do território. Outros passos necessários passariam por apostar no aumento da eficiência das redes de transportes assim como na eficiência dos próprios veículos, não descurando as várias tecnologias inovadoras alternativas ao petróleo.

É de extrema importância frisar ainda a importância que a União Europeia dedica ao setor dos transportes como sendo um aspecto crucial para todo um futuro de desenvolvimento da Europa. Recentemente, a Comissão Europeia publicou o Livro Branco (White Paper), que sumariza as principais estratégias para o desenvolvimento de um sistema de transportes competitivo e sustentável, assim como para reduzir as emissões de GEE. Um dos objetivos explícitos nesse mesmo documento é a redução em 20% das emissões dos GEE no ano de 2030 face ao ano de 2008 (ECMT, 2011). O documento aponta para uma uniformidade de todos os estados membros Europeus no sentido de tomarem decisões conjuntas para que o sistema de transportes seja mais integrado, resultando num sistema robusto e sustentável.

Uma das ideias principais que suscitou o interesse no enquadramento da presente Dissertação foi na área dos padrões de mobilidade inovadores, pois para incentivar comportamentos sustentáveis é necessário promover activamente um melhor planeamento da mobilidade. A informação é um fator importante devendo estar sempre disponível em todos os meios de transporte. Neste contexto, será necessário um melhor planeamento (por meios electrónicos) dos itinerários intermodais, um e a implementação de um quadro legal adaptado que permita a disponibilização da informação em tempo real aos utilizadores dos sistemas de transportes.

As Tecnologias da Informação podem dar respostas a algumas necessidades de acessibilidade sem exigir mobilidade adicional (ECMT, 2011).

O livro branco da UE para os transportes faz ainda especial destaque aos sistemas inteligentes de gestão de tráfego que poderão conduzir a uma utilização mais eficiente das atuais infraestruturas. Este fato levou a uma maior motivação do trabalho efetuado, uma vez que a informação produzida no decorrer desta Dissertação poderá servir como informação base para estes tipos de sistema.

Finalmente, poder-se-à considerar que em períodos de vazio, as infraestruturas terão capacidade suficiente para acolher mais tráfego correspondente aos condutores que desejam escolher a rota mais eficiente do ponto de vista ambiental. Contudo, durante a hora de ponta esta situação poderá não ocorrer, o que motiva um estudo aprofundado sobre as emissões e consumos de energia em diversas rotas durante o período de ponta.

1.2. Objetivos

A presente Dissertação de Mestrado tem como principal objetivo a análise das diversas rotas na região viária de Aveiro e entre as cidades de Aveiro e Porto no período de ponta. Pretende-se determinar as emissões de veículos a diesel e gasolina, nos diversos percursos que liguem dois locais específicos, neste caso na área urbana de Aveiro e entre as cidades de Aveiro e Porto. A principal motivação é a identificação das rotas cujos consumos energéticos e emissões de poluentes sejam menores.

Para tal, foi considerada uma fase experimental de recolha de dados de desempenho do veículo e uma fase de aplicação de um modelo teórico de cálculo de emissões de poluentes.

A fase experimental consistiu em percorrer todos os trajetos em hora de ponta e recolher dados dinâmicos (velocidade, aceleração e declive da via) através de um dispositivo de sistema global de posicionamento (GPS-*Global Positioning System*). Todos os testes foram gravados em vídeo para melhor caracterizar cada via assim como qualquer tipo de incidente que possa ter ocorrido.

Na aplicação de um modelo teórico para o cálculo de poluentes foi utilizado o conceito de potência específica do veículo (VSP – *Vehicle Specific Power*) que utiliza os dados experimentais como parâmetros de entrada para a obtenção das respetivas emissões.

O desenvolvimento deste trabalho aparece no seguimento da Dissertação de Tiago Almeida (Almeida, 2010), de forma a aprofundar o conhecimento sobre a escolha de rotas e a complementá-la para o período de maior congestionamento de tráfego. Nessa Dissertação procurou-se aferir o impacto da escolha de rota em termos de emissões e consumos a nível urbano (Aveiro) e suburbano (Aveiro-Porto) (Almeida, 2010; Bandeira et al., 2011). Os estudos anteriores apontam para o facto de que a seleção de rota constitui um fator muito significativo na quantidade de combustível consumido, nas emissões de CO₂ produzidas, bem como nas emissões de poluentes locais. Os trabalhos experimentais da Dissertação anterior foram

propositadamente conduzidos fora do período de ponta, no sentido de avaliar o impacto das características intrínsecas das rotas sem a influência de variações de tráfego significativas (Almeida, 2010).

No âmbito das finalidades expostas anteriormente, a presente Dissertação deverá:

- ✓ Estabelecer o estado-da-arte no que respeita à monitorização de desempenho de veículos, consumos e emissões.
- ✓ Saber caracterizar experimentalmente o desempenho de um veículo em situações de congestionamento.
- ✓ Utilizar uma metodologia que correlaciona a atividade do veículo com as suas emissões.
- ✓ Avaliar a influência da hora de ponta e do consequente aumento dos volumes de tráfego nos consumos e emissões.
- ✓ Aferir se o tempo de partida influencia significativamente os resultados e a classificação das rotas nos diversos parâmetros em estudo.
- ✓ Identificar os principais pontos de congestionamento e de emissões de poluentes nas diversas rotas estudadas.

Em suma, pretende-se analisar o impacto do congestionamento na seleção de rotas e concluir qual o percurso com maior eficácia do ponto de vista energético-ambiental. Numa ótica global, esta Dissertação visa clarificar a importância da escolha de rotas numa situação de congestionamento para qualquer cidadão que se encontra diariamente neste tipo de situações.

1.3. Estrutura da Dissertação

A presente Dissertação de Mestrado foi dividida em seis capítulos fundamentais para uma leitura mais simples e perceptível. No Capítulo 1 encontra-se a Introdução e objetivos onde se enquadra o tema na problemática mundial e são apresentados os principais objetivos. No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica sobre a monitorização de rotas, o congestionamento e a modelação de emissões. O terceiro capítulo é constituído pela metodologia utilizada no decorrer desta dissertação incluindo a monitorização experimental das rotas e a modelação de emissões. O quarto capítulo consiste na revisão de resultados obtidos por Almeida (2010), assim como a apresentação dos resultados obtidos e a sua discussão. No capítulo cinco são apresentadas as conclusões e possíveis desenvolvimentos futuros do trabalho.

Na Figura 3 apresenta-se um fluxograma para uma melhor perceção da estrutura da presente dissertação.

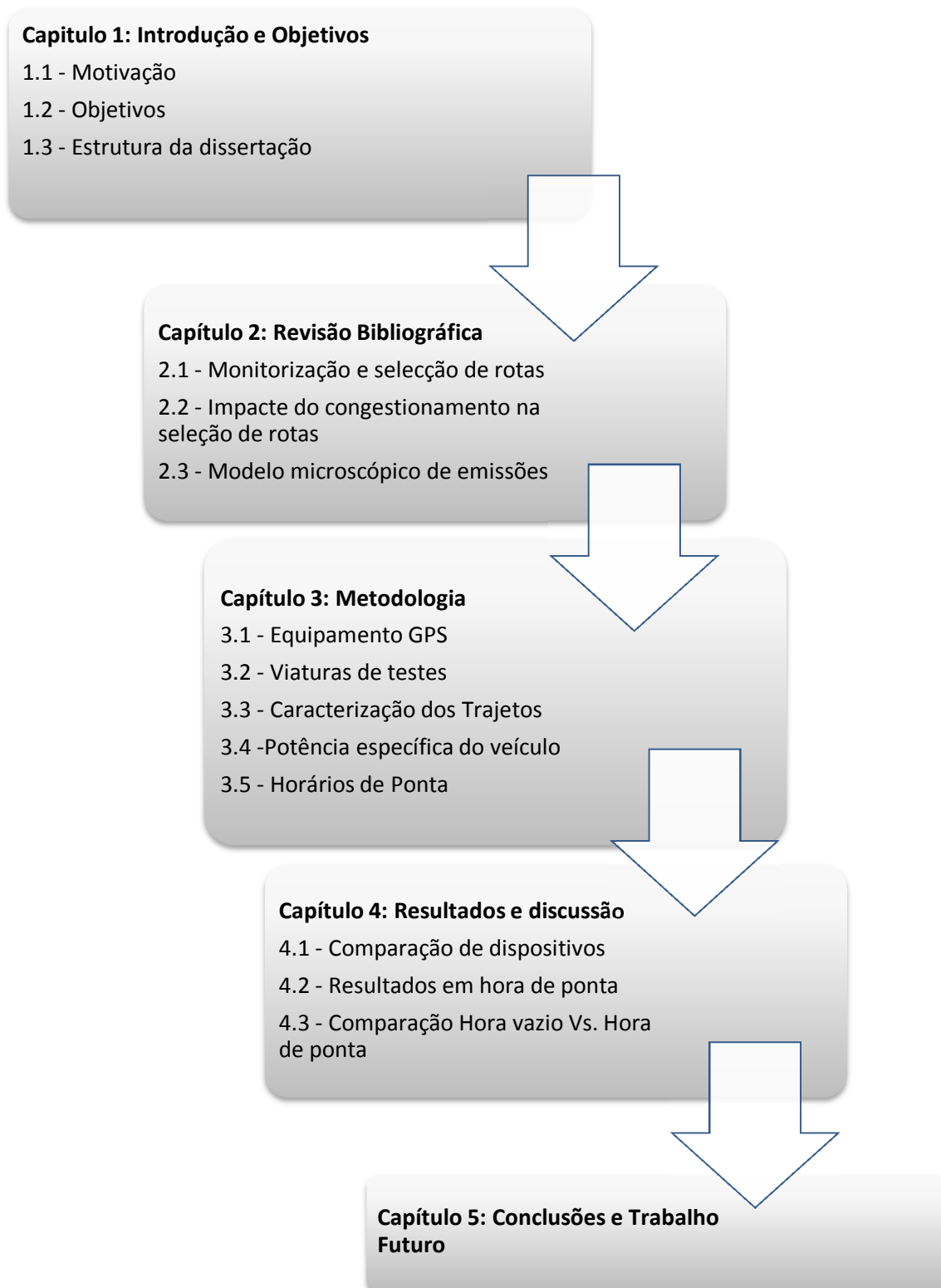


Figura 3 - Fluxograma da estrutura da dissertação.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo procura-se rever a pesquisa fundamental efetuada no âmbito da presente Dissertação. A monitorização e seleção de rotas assim como o congestionamento são pontos importantes que se procurou destacar pois assim levará a uma maior compreensão do trabalho em causa. Por último, também se deu algum destaque à metodologia utilizada, nomeadamente a componente de modelação de emissões.

2.1 Monitorização e seleção de rotas

Para proceder à caracterização do processo de escolha de rotas é necessário recorrer a inquéritos/questionários ou à utilização de dispositivos eletrónicos que recolham informação sobre a trajetória dos veículos. A utilização de inquéritos/questionários para monitorizar determinada rota é uma opção com várias limitações uma vez que os participantes são frequentemente demasiado otimistas quando respondem a questões hipotéticas. Além disso, é difícil ter acesso e avaliar algumas variáveis, assim como contextualizá-las. Por último os participantes por vezes respondem às perguntas da forma que pensam que o entrevistador quer ouvir ou então selecionam a resposta que lhes é menos realista (Hunt& Abraham, 2007). Por sua vez, a utilização de dispositivos eletrónicos consiste na utilização de um dispositivo GPS (*"Global Positioning System"*) (Du e Atmann-hall, 2007) ou da análise do posicionamento de veículos baseada no sinal de telemóveis (Johannes Schlaich, 2009) para recolher informação relativa a fixação de rotas e registo de velocidades.

A utilização de um dispositivo GPS para monitorização de rotas pode ser utilizado juntamente com um assistente digital pessoal (PDA) possibilitando que o utilizador introduza alguma informação no decorrer da viagem, assim como o número de passageiros, motivo de viagem, etc. Outro modo de utilizar um dispositivo deste tipo é a utilização de um GPS que recolhe a informação de forma automática e que não estabelece qualquer troca de informação com o utilizador. É ainda de referir que estes dispositivos podem apresentar algumas limitações uma vez que apresentam erros de relógio de satélite assim como pode existir ruído na receção do sinal (Wolf, 1999). Apesar da possibilidade de existência destas limitações, Jackson et al. (2005) afirmam que este tipo de dispositivos é adequado para este género de estudos.

O processo de decisão de escolha de rota é baseado no conhecimento adquirido e na experiência do condutor. A aprendizagem de novas rotas passa essencialmente por estabelecer pontos específicos que sirvam de referências assim como cruzamentos, por exemplo, de forma a criar um mapa mental. Tal conhecimento é baseado na experiência pessoal através do ambiente urbano. De acordo com a teoria da aprendizagem, os indivíduos exploram o ambiente que os rodeia e aprendem a partir das suas experiências (Abdel-Aty et al., 1997). As decisões de escolha de rotas podem ocorrer antes da viagem assim como no decurso da mesma, devido a quaisquer ocorrências registadas, assim como o nível de tráfego registado (Papinsky et al., 2009). Minimizar o tempo de viagem, o seu custo ou distância não são as únicas influências na escolha de rotas (Golledge et al., 1997). Alguns critérios mais

específicos de seleção incluem o caminho mais curto, o mais rápido, o que tem um custo mais generalizado, o que tenha o menor número de mudanças de direção, menos obstáculos e que evite áreas menos seguras (Golledge & Garling, 2002).

Papinsky et al. (2009) estudaram o processo de decisão de escolha de rotas e verificaram que 20% dos participantes se desviavam da rota planeada, e que tais desvios se deviam a vários fatores, como a exploração de uma nova rota com o intuito de diminuir o tempo de viagem, a mudança de condutor, pequenas alterações de rota devido a aspetos mais convenientes, mudança de horário ou então ao congestionamento. Esses desvios observados desde o ponto inicial da rota tiveram um peso médio de 44% da distância total da viagem. Neste mesmo estudo foi apurado ainda que os condutores escolhem as suas rotas com o principal objetivo de minimizar o tempo e a distância de viagem. Já o congestionamento, e o número de sinalizações de paragens obrigatórias fazem parte das segundas razões de escolha.

Por sua vez, outros estudos no tema da escolha de rotas foram efetuados, e Ahn e Rakha (2008) verificaram que os condutores escolhem a rota que minimiza o custo e o tempo de viagem o que pode resultar em percursos mais longos mas também mais rápidos. Ao selecionar a rota que mais convém aos condutores, sendo essa, por norma a mais longa e simultaneamente com menor tempo de viagem, surge a questão se será o percurso mais económico do ponto de vista energético e menos poluente a nível ambiental. Ahn e Rakha (2008) estudaram o impacto energético e ambiental que a escolha de determinado tipo de rota pode gerar. Os autores concluíram que as melhorias na qualidade do ar, a nível de HC, CO e NO_x, observam-se quando os condutores selecionam as estradas nacionais, ou seja, percursos associados a baixas rotações do motor do veículo. Os resultados obtidos sugerem ainda que para alcançar melhorias significativas na qualidade do ar e no consumo de energia, deveria existir uma maior sensibilização da população para a eco-condução.

Para proceder à monitorização de rotas efetuadas e para verificar assim o impacto da seleção de determinada rota, é possível recorrer a modelos teóricos de emissões de poluentes através dos gases de escape. Existem assim dois tipos de modelos teóricos para o cálculo de emissões, nomeadamente: modelos macroscópicos e microscópicos. Um modelo macroscópico é normalmente um modelo mais generalista podendo calcular emissões a quente e a frio, assim como introduzir vários parâmetros como o tipo de veículo, quilometragem, idade, entre outros. No entanto, estes modelos baseiam-se essencialmente na velocidade média dos veículos para estimarem emissões. Em relação a um modelo microscópico, regra geral, as emissões são calculadas segundo-a-segundo tendo como dados de entrada alguns parâmetros dinâmicos do veículo (como velocidade, aceleração e altitude).

Ahn e Rakha (2008), optaram por utilizar três modelos teóricos de cálculo de emissões, recorrendo a um modelo macroscópico (MOBILE6) que estima os fatores de emissão a quente e a frio, e dois modelos microscópicos (VT-Micro e CMEM) em que o primeiro foi desenvolvido através de uma regressão experimental que combina a velocidade e aceleração para construir um modelo de duplo regime e o segundo utiliza como parâmetros de entrada os parâmetros dinâmicos e parâmetros de um modelo calibrado (fator de fricção do motor e fatores de emissão a frio) prevendo assim o consumo e emissões do veículo segundo a segundo para uma determinada gama de veículos e tecnologias. Os autores verificaram então que ambos os

modelos microscópicos (VT-Micro e CMEM) previram que os condutores conseguiram reduzir o consumo de energia e emissões se optassem por vias alternativas às autoestradas enquanto o modelo macroscópico (MOBILE6) indicava que a autoestrada era a rota que permitia a redução da emissão poluentes e menor tempo de viagem. Tais resultados demonstram claramente a necessidade do uso de modelos microscópicos de emissões para posterior monitorização de rotas.

2.2 Impacte do Congestionamento na seleção de rotas

Os condutores optam por selecionar, num par origem/destino a rota mais rápida ou a mais económica. O crescimento do tráfego urbano gera o aumento do congestionamento o que afeta não só a mobilidade dos viajantes como provoca um aumento nas emissões. Assim, uma determinada rota que poderia ser a mais rápida ou mais económica tem uma grande possibilidade de se transformar na mais lenta assim como na mais poluente, obrigando os condutores a tomar decisões no decorrer da rota inicialmente pretendida.

Zhang et al. (2011) estimaram as emissões para veículos ligeiros e pesados em hora de ponta, comparando-as com as emissões fora da hora de ponta. Os autores consideraram como situação de congestionamento as rotas cuja velocidade média fosse compreendida entre 80-96 Km/h e ocorresse durante o período de ponta. Já para condições normais consideraram velocidades a partir dos 104 km/h. Foram utilizados dois modelos de emissões, o MOBILE6.2 e o CMEM (Comprehensive Modal Emissions Model), e verificou-se na comparação dos mesmos que os seus fatores diferem substancialmente pois os resultados do MOBILE6.2 são de duas a cinco vezes maiores que os resultados do segundo modelo. Este estudo verificou que, em hora de ponta, a quantidade de emissões para os hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) aumentam entre 45 a 95% em comparação a uma situação de tráfego regular. Já para os óxidos nitrosos (NO_x) obtiveram-se aumentos na ordem dos 7%.

Durante o congestionamento, os condutores têm dificuldade em escolher uma rota com o objetivo de diminuir o tempo de viagem e assim os atrasos. Ahn e Rakha (2008) verificaram que na hora de ponta da manhã os resultados do tempo médio da viagem recolhidos pelo GPS, demonstraram que as viagens pela autoestrada poupavam 17% do tempo comparando com viagens pelas estradas secundárias.

Por sua vez, De Vlieger et al. (2000), investigaram os efeitos de diferentes tipos de condução assim como o efeito do congestionamento a nível ambiental. Foi utilizado um sistema dedicado para efetuar as medições que consistiu na monitorização dos gases de escape de cada veículo utilizado. O estudo realizou-se em três tipos de vias diferentes nomeadamente em meio urbano, rural e em circulares com perfil de via rápida, verificando-se que nas vias urbanas o consumo de combustível é duas vezes mais elevado. Foi ainda concluído neste mesmo estudo que o tipo de condução tem efeitos que se reflectem a nível de emissões de gases de escape, sendo que uma condução mais agressiva gera um aumento nas emissões de CO num fator entre 1 e 8 enquanto as emissões de HC sofrem aumentos na ordem dos 15 até 400 % e as de NO_x de 20 a 150 %. Este facto deve-se essencialmente ao estilo de condução que

é caracterizado essencialmente por sucessivas acelerações e desacelerações. Em relação ao congestionamento os autores verificaram que o consumo de combustível aumenta entre 20-45 % na hora de ponta e as emissões de CO₂ duplicaram também em hora de ponta a uma velocidade média de 13,5 Km/h comparativamente a uma velocidade média de 50 km/h.

Com o objetivo de quantificar a variabilidade de emissões por cada rota definida, altura do dia e declive da estrada, Frey et al. (2008) estudaram um par origem/destino com três rotas alternativas utilizando um equipamento portátil de medição de emissões para quantificar as fontes de variabilidade mais significativas. Verificou-se, comparativamente a um fluxo normal do tráfego em relação à hora de ponta, um aumento empírico de cerca de 9 a 23 % de emissões e combustível consumido, concluindo assim que as variações nas condições de tráfego têm impactes significativos nas emissões e no consumo do veículo. Neste mesmo estudo ainda se verificou que uma condução mais agressiva gera emissões substancialmente superiores dependendo do tipo de veículo. Por exemplo para veículos com catalisador de triplo efeito, as emissões de CO, para uma condução agressiva, aumentam em média 3 vezes mais do que uma condução normal.

Com os apoios dos sistemas inteligentes de transportes (ITS – *Intelligent Transport Systems*) muitos condutores procuram escolher a sua rota consoante a informação disponível, e nestas tecnologias, os ATIS (*Advanced Traveler Information Systems*) são os que têm tido mais sucesso. Existem muitos sistemas de navegação que podem ajudar o condutor na seleção de rota e existe software disponível que permite planear e otimizar as rotas definidas pelo condutor, e através da localização do veículo, em tempo real. O principal objetivo destes equipamentos é ajudar o condutor a chegar ao destino, mas tecnologias mais recentes ajudam o condutor a evitar qualquer congestionamento que possa surgir durante o percurso. Muitos aparelhos selecionam a rota mais curta como sendo a mais rápida e a mais económica o que por vezes pode não corresponder à verdade. Barth et al. (2007) desenvolveram uma metodologia para calcular não só o menor tempo e distância mas também a menor energia e emissões na escolha de rota de um sistema de navegação. Concluíram que em muitos casos a redução de tempo de um percurso traduzia-se numa poupança de energia e consequentes emissões, o que pode não se verificar quando ocorre o congestionamento. Como o consumo de energia e as emissões são mais elevados a baixas velocidades de congestionamento, um percurso ainda mais congestionado mas mais curto pode não ser o mais ecológico. Por outro lado, um nível de congestionamento médio geralmente consiste na redução da velocidade média do tráfego de um nível mais elevado reduzindo assim o consumo e emissões dos veículos quando estes se encontravam em regimes de elevadas rotações. Os autores verificaram ainda que os dados de tráfego melhoram as reduções dos consumos de energia e emissões tornando assim o sistema de navegação mais eficaz (Barth et al., 2007).

De um modo geral, vários estudos apontam para que o congestionamento proporcione um aumento nas emissões dos veículos e no tempo de viagem. Muitos condutores ao enfrentar o congestionamento tentam selecionar uma nova rota de modo a evitar atrasos e diminuir o tempo de viagem o que nem sempre é fácil devido aos problemas enfrentados na escolha de qualquer rota. É de salientar ainda que, quer na hora de ponta, quer fora da hora de ponta os condutores não têm em conta, na seleção da sua rota, o impacte ambiental a nível de emissões que estará em causa. Para o processo de diminuição de energia assim como na

redução de poluentes, este passará pela informação aos condutores ou alternativamente através de taxas ou mecanismos legais que conduzam a uma alteração do comportamento por parte dos condutores (Bandeira et al., 2011).

2.3 Modelo Microscópico de Emissões

A variável VSP representa a potência específica do veículo e é função da velocidade do veículo, da aceleração (positiva ou negativa) e declive da via. Basicamente, tais parâmetros dinâmicos representam a potência do motor através da energia cinética, arrasto aerodinâmico e inclinação do plano. Para executar o método VSP, é necessário obter o perfil de velocidade e o declive segundo a segundo. Assim, em cada segundo é possível estimar o valor do VSP e as respetivas emissões (Coelho et al., 2009)

Na definição dos modos VSP, teve-se em conta dois aspetos fundamentais:

- ✓ Cada modo deve ter uma taxa de emissão estatisticamente diferente da média em relação a outros modos;
- ✓ Nenhum modo deve dominar a estimativa das emissões totais de uma viagem típica.

Assim, para conduzir a seleção das definições modais, decidiu-se que nenhum modo deve conter mais que aproximadamente dez por cento das emissões totais. Com base nestas duas considerações ficaram assim definidos os modos VSP (NCSU, 2002).

Foi provado que a metodologia VSP é útil na estimação de emissões em microescala para veículos a gasolina. Investigações recentes sugerem que esta metodologia é também aplicável a veículos a diesel (Coelho et al., 2009). Foi ainda verificado que na comparação entre veículos diesel e gasolina, as taxas de emissão estimadas de dióxido de carbono eram superiores para veículos a gasolina, o que é consistente com a expectativa de que os veículos a diesel são mais eficientes que os veículos a gasolina (em termos de consumos). Para os mesmos valores do VSP positivos, as taxas de emissão de óxidos nitrosos são maiores para veículos a diesel ao invés dos a gasolina apesar do veículo a gasolina gerar maiores taxas de emissões de monóxido de carbono, o que confere com a expectativa que um veículo a diesel produz mais óxidos nitrosos e menos monóxido de carbono comparativamente a um veículo a gasolina (Coelho et al., 2009).

Frey et al. (2007) estudaram a influência de fatores como a velocidade, aceleração e declive no consumo de combustível de autocarros a diesel e a células de hidrogénio. Os autores utilizaram a metodologia VSP para modelar consumos de ambos os veículos. Para verificar a robustez desse mesmo modelo comparou-se o consumo empírico ao consumo real que os autocarros faziam utilizando a mesma rota. Verificou-se que o consumo médio do modelo teórico para os autocarros de células de hidrogénio têm uma menor variabilidade quando comparado com os autocarros a diesel. Concluiu-se também que a metodologia VSP é útil para caracterizar as viagens de autocarro assim como o seu consumo.

Outros estudos levaram a cabo esta mesma metodologia, assim como Frey et al. (2008), que quantificaram a variabilidade de emissões por diversas rotas. Os autores utilizaram também um equipamento portátil de medição de poluentes para quantificar as fontes de variabilidade mais significativas e verificaram que as emissões obtidas pelas funções empíricas das medições medidas (VSP) são de três a dez vezes maiores que as estimadas pelo modelo MOBILE6 (modelo macroscópico). Foi avaliado ainda o impacto das condições de tráfego concluindo que em hora de ponta as emissões sofriam um aumento empírico de cerca de 9 a 33% devido à diminuição da velocidade média. Ainda em relação à metodologia utilizada, concluiu-se que a existência de inclinações positivas induzem a um aumento de cerca de 20% nas taxas de emissão, apontando assim para três variáveis fundamentais à variabilidade de emissões: velocidade, aceleração e inclinação da via.

Zhai et al. (2008) também aplicaram a metodologia VSP aos autocarros numa tentativa de estimar as taxas de emissão nestes mesmos veículos com um motor diesel. É assim utilizada a metodologia VSP através dos modos definidos através de dados adquiridos por dispositivos portáteis de medição de emissões, para tal os perfis de velocidade foram agrupados em categorias e transformados em modos discretos. Neste mesmo estudo, a metodologia utilizada (VSP) estimou as emissões com erros na ordem dos 3 a 6% dependendo do poluente em causa.

Bandeira et al. (2011) utilizaram a metodologia VSP com a finalidade de estimar as emissões em cada rota pré-definida para proceder a uma possível comparação entre rotas. A metodologia VSP foi selecionada pois permite uma estimativa das emissões segundo a segundo o que facultará uma melhor caracterização de cada trajeto efetuado. A aquisição de dados para aplicação do modelo foi efetuada fora dos períodos de ponta não tendo assim qualquer influência das modificações de volume de tráfego.

Utilizando também a metodologia VSP, Bandeira et al. (2011) e Almeida (2010) conduziram um estudo nas zonas urbanas de Aveiro e Porto, onde procuraram avaliar o impacto da escolha de rota em termos de emissões fora da hora de ponta. Procurando oferecer continuidade a algumas questões levantadas no decorrer desta investigação, esta Dissertação visa avaliar potenciais diferenças que podem surgir devido ao aumento dos volumes de tráfego (durante a hora de ponta) em termos de emissões e consumos. A presente Dissertação visa inovar o trabalho anterior utilizando a mesma metodologia de cálculo de emissões, com condutores diferentes e com atualização da caracterização detalhada das rotas.

3. Metodologia

Para a realização da presente Dissertação de Mestrado foi necessário previamente recorrer à elaboração de um plano de trabalho apresentado na Tabela 1. Com o plano de trabalho elaborado estavam assim as tarefas mais simplificadas para serem executadas passo a passo.

Tabela 1-Calendarização de tarefas.

	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho
Tarefa 1						
Tarefa 2						
Tarefa 3						
Tarefa 4						
Tarefa 5						

As tarefas da tabela anterior consistiram nas seguintes particularidades:

Tarefa 1 - Literatura técnica sobre monitorização experimental e modelos numéricos de cálculo de emissões de poluentes e consumos de combustível.

Tarefa 2 - Recolha de dados experimentais. Obtenção de dados instantâneos (posição, velocidade, aceleração, inclinação da via) nas rotas pré-estabelecidas através de um GPS *data logger*. Filmagem dos percursos realizados.

Tarefa 3 - Tratamento de dados experimentais obtidos. Cálculo de emissões através da metodologia VSP.

Tarefa 4 – Comparação e análise estatística dos resultados das emissões e consumos das diversas rotas.

Tarefa 5 - Escrita da Dissertação de Mestrado e de artigo para submissão a uma conferência. Defesa da Dissertação de Mestrado.

Para uma melhor perceção de toda a metodologia deste trabalho, na **Figura 4** apresenta-se um esquema e como se pode verificar, esta pode-se dividir em 5 fases fundamentais. A primeira fase consistiu na adaptação por parte do condutor ao veículo e ao equipamento. Em relação ao veículo foi necessário adotar uma condução estável, em relação ao equipamento foi necessário estudar um método para a transferência dos dados para o computador de forma eficaz. Numa fase seguinte situou-se a monitorização experimental pelas diversas rotas,

seguida pelo tratamento de dados. Após a obtenção de dados em período de ponta, foram revistos os dados obtidos no período normal obtidos por Almeida (2010).

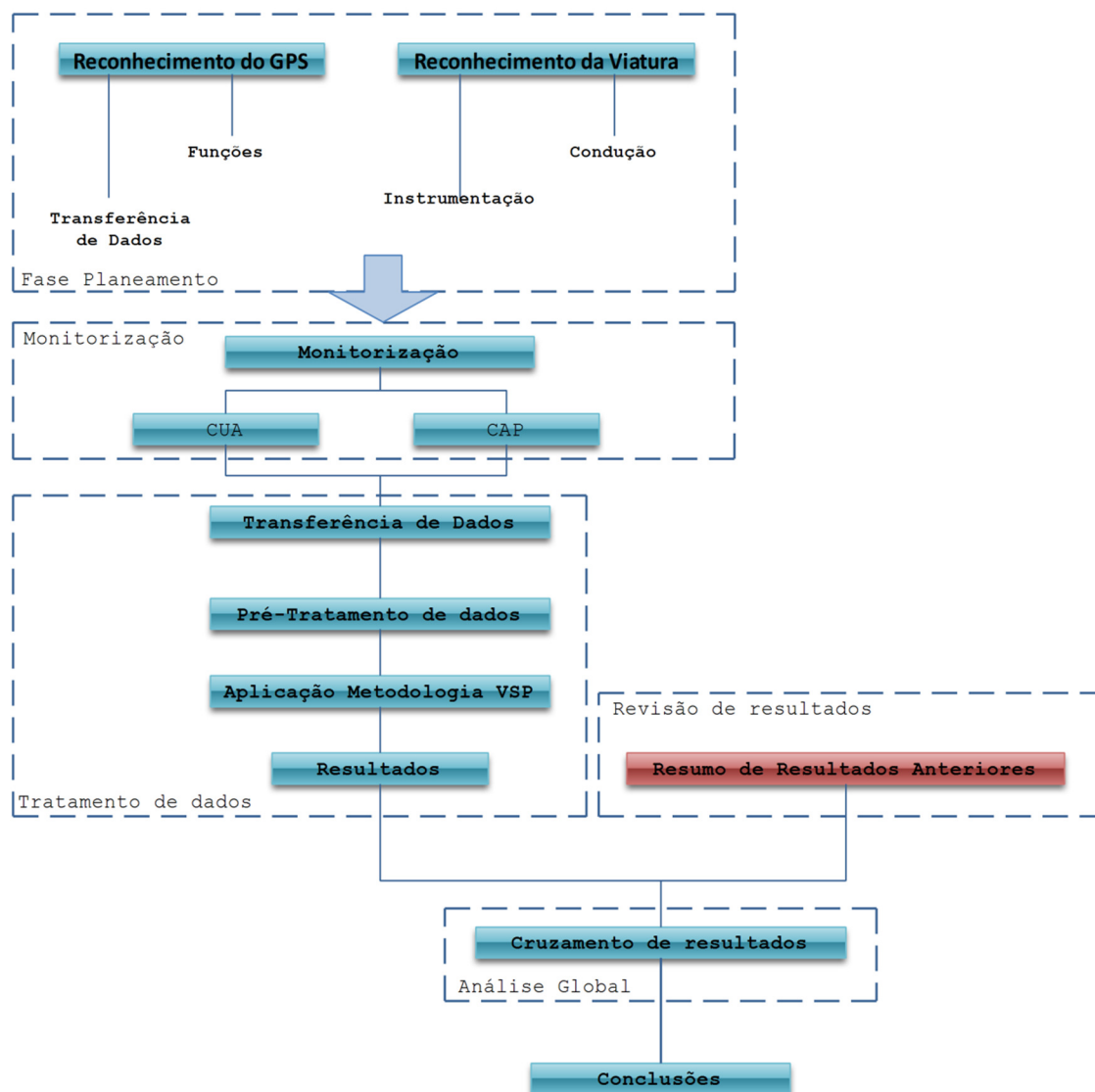


Figura 4 - Ilustração da Metodologia da Dissertação.

3.1 Equipamento GPS (MobPharos GPS CM0609 e Qstarz BT-1000 XT)

Nesta secção são apresentados os dispositivos utilizados no decorrer dos testes efetuados nesta Dissertação. Também se apresenta uma comparação entre os aparelhos uma vez que há a possibilidade de existirem pequenas diferenças de fabricante para fabricante que podem influenciar os resultados finais.

Tendo em conta a metodologia da presente Dissertação, o equipamento de posicionamento global foi um fator determinante para a realização da mesma. Assim, torna-se importante realçar alguns aspetos no que toca a utilização destes aparelhos.

No decorrer dos testes foram utilizados dois equipamentos, nomeadamente o MobPharos GPS CM0609 e Qstarz BT-1000 XT, como demonstram as figuras abaixo.



Figura 5-MobPharos GPS CM0609



Figura 6-Qstarz BT-1000 XT.

O primeiro equipamento GPS, o MobPharos GPS CM0609 é um equipamento compacto tipo relógio de pulso que proporciona grande versatilidade permitindo:

- ✓ O registo das coordenadas de localização em tempo real;
- ✓ O registo da velocidade em tempo real;
- ✓ A ligação a um computador pessoal onde é permitido a recolha de dados.

Por sua vez, o Qstarz BT- 1000XT é também um equipamento bastante compacto e versátil que contém na sua interface um botão que permite ao utilizador assinalar determinado instante que ficará marcado no registo. Este equipamento permite (Qstarz, 2010):

- ✓ O registo de coordenadas de localização em tempo real;
- ✓ Registo da velocidade

- ✓ Ligação a computador pessoal através e cabo ou Bluetooth;
- ✓ Modo de funcionamento até 5Hz

Para a recolha dos parâmetros dinâmicos do veículo através destes dispositivos ter algum sucesso, implicou algum cuidado no seu manuseamento. Alguns cuidados a ter em conta para a fiabilidade dos dados foram:

- ✓ A qualidade de cobertura da rede GSM (*Global System for Mobile Communications* – sistema global de comunicações móveis);
- ✓ A disposição do aparelho dentro do veículo, uma vez que o sinal perde qualidade enfrentando barreiras de betão ou metal;
- ✓ Garantia que a bateria estaria devidamente carregada;
- ✓ Garantia que a memória do dispositivo era suficiente para a armazenagem dos dados do percurso.

Todos estes cuidados foram importantes para os aparelhos funcionarem de forma fidedigna de modo a que os dados retirados destes aparelhos, nomeadamente, a velocidade segundo a segundo, a altitude e declive, tenham o menor erro possível.

3.2 Viaturas de testes

A parte experimental da presente Dissertação passou pela recolha de informação que possibilitou o cálculo de emissões de poluentes para cada percurso realizado. Todos os percursos e todos os testes foram efetuados com dois veículos, e condutores diferentes. As viaturas utilizadas foram então um Toyota Yaris (**Figura 7**) e um Opel Corsa (**Figura 8**). Na **Tabela 2** é possível verificar as características detalhadas da primeira viatura.



Figura 7 - Toyota Yaris.



Figura 8 - Opel Corsa.

Tabela 2-Especificações do Toyota Yaris (Toyota Motor Marketing Europe, 2010).

Desempenho energético	Tipo de combustível	Diesel
	Consumo de combustível(l/100km)	4,2
Motor	Emissões CO ₂	109 g/km
	Cilindrada(cc)	1364
	Binário máximo (Nm/rpm)	205/1800-2800
	Potência máxima (CV/rpm)	90/3.600
Transmissões	Tipo de transmissão	6 velocidades manual

A viatura Toyota é do mês de Janeiro de 2011 respeitando as normas Europeias de emissões EURO V. Em questões de desempenho apresenta uma velocidade máxima de 175 km/h e uma aceleração 0-100 km/h de cerca de 10,7 segundos. É uma viatura de dimensão reduzida com um peso bruto de 1525 Kg. Como é possível constatar na tabela acima o veículo é dotado de uma caixa manual de 6 velocidades, emitindo cerca de 109 gramas de CO₂ por quilómetro.

Tabela 3 - especificações do Opel Corsa. (Carfolio, 2011)

Desempenho energético	Tipo de combustível	Gasolina
	Consumo de combustível(l/100km)	6
Motor	Emissões CO ₂	143 g/km
	Cilindrada(cc)	1229
	Binário máximo (Nm/rpm)	110/4000
	Potência máxima (CV/rpm)	80/5.600
Transmissões	Tipo de transmissão	5 velocidades manual

Através da **Tabela 3** verifica-se que o Opel Corsa, é um modelo de 2004 respeitando assim a norma Europeia de emissões EURO III. É um veículo a gasolina com uma cilindrada de 1.2 litros e tem uma potência máxima de 80 CV.

Para uma melhor comparação entre as diversas rotas optou-se por utilizar dois veículos e dois condutores para testar todos os percursos em ambos os sentidos, pois assim é possível analisar algumas diferenças que possam existir, devido à influência da viatura e do condutor. Apesar de se representar nas especificações as emissões de CO₂ de cada veículo, tal valor não irá ser utilizado no decorrer deste trabalho, uma vez que as emissões calculadas são para veículos ligeiros de passageiros genéricos utilizando apenas os dados da dinâmica dos veículos. Ambos os condutores procuraram inserir-se no fluxo de tráfego com o objetivo de igualar a sua velocidade. Quando existia uma situação de regime livre, em condições de pouco trânsito, procurou-se cumprir os limites de velocidade.

3.3 Caracterização dos Trajetos

Nesta subsecção caracteriza-se cada percurso do circuito urbano de Aveiro e do circuito Aveiro-Porto. O Circuito Urbano de Aveiro (CUA) é constituído por três rotas distintas e é um circuito de curtas distâncias com o objetivo de observar a mobilidade rodoviária apenas em cidade. Por sua vez o Circuito Aveiro-Porto (CAP) é um circuito de longas distâncias entre as duas cidades onde se espera encontrar grandes volumes de tráfego em hora de ponta (devido às deslocações de massas principalmente devido a motivos de trabalho). Todos os trajetos têm diferenças entre si, tendo sido então caracterizados segundo os seguintes fatores:

- ✓ Distância;
- ✓ Duração total;
- ✓ Tipo de estrada:
 - Autoestrada;
 - Estrada Nacional;
 - Meio urbano;
- ✓ Limite de velocidade;
- ✓ Tipo de vizinhança: Residencial, industrial, vias de comunicação e comercial/serviços.
- ✓ Existência de portagens;
- ✓ Número de vias de trânsito;
- ✓ Intersecções: Cruzamentos, entroncamentos e rotundas;

Os aparelhos utilizados a bordo para a monitorização experimental foram um GPS *data logger*, para aquisição de parâmetros dinâmicos do veículo e máquina de filmar (**Figura 9**) que se revelou bastante útil para uma segunda abordagem dos percursos tanto na análise do nível de congestionamento como de caracterização dos percursos (cruzamentos, rotundas, etc.) assim como qualquer tipo de incidente que pudesse ocorrer. Em relação ao aparelho GPS, e como foi abordado anteriormente, para garantir que o aparelho recebia o máximo sinal possível procurou-se coloca-lo sempre junto ao *tablier* (**Figura 10**).



Figura 9 - Montagem do tripé e máquina de filmar no interior do veículo.



Figura 10 - Colocação do GPS.

3.3.1 Circuito Urbano de Aveiro

O Circuito Urbano de Aveiro consiste num par origem/destino com três rotas possíveis. Essas rotas variam um pouco entre si, pois uma delas contém apenas características citadinas, passando pelo centro da cidade, por sua vez as outras duas correspondem a um percurso em estrada nacional e em autoestrada. Estas diferenças são úteis à monitorização de rotas uma vez que é possível explorar todas as diferenças entre cada tipo de rota.

Todos os trajetos têm em comum o ponto de partida e de chegada, sendo a rotunda da universidade e a rotunda da Taboeira (**Figura 11** e **Figura 12**). O par origem/destino foi

selecionado uma vez que se situam em pontos opostos da cidade permitindo assim a sua travessia. O ponto mais a norte da cidade (rotunda da Taboeira) situa-se na confluência dos dois eixos estruturantes (A25 e N109) que contornam o núcleo urbano da cidade de Aveiro. Todos os percursos foram analisados nos dois sentidos com o intuito de identificar potenciais diferenças relacionadas com as características físicas das rotas e diferentes volumes de tráfego.



Figura 11 - Rotunda da Universidade de Aveiro.



Figura 12 - Rotunda da Taboeira.

O primeiro trajeto é denominado por CUA T1 (**Figura 13**) e corresponde ao percurso efetuado pela A25, sendo o percurso que regista uma velocidade média superior, uma vez que o limite de velocidade em autoestrada é de 120 km/h. As principais características deste trajeto são:

- ✓ Comprimento de cerca de 6,4 km sendo o percurso mais longo;
- ✓ Cerca de 55% do percurso é efetuado em autoestrada, enquanto os restantes 45% são constituídos por estradas rurais/citadinas;
- ✓ A maioria do percurso tem duas vias em ambos os sentidos;
- ✓ O elevado limite de velocidade faz com que seja o percurso mais rápido.

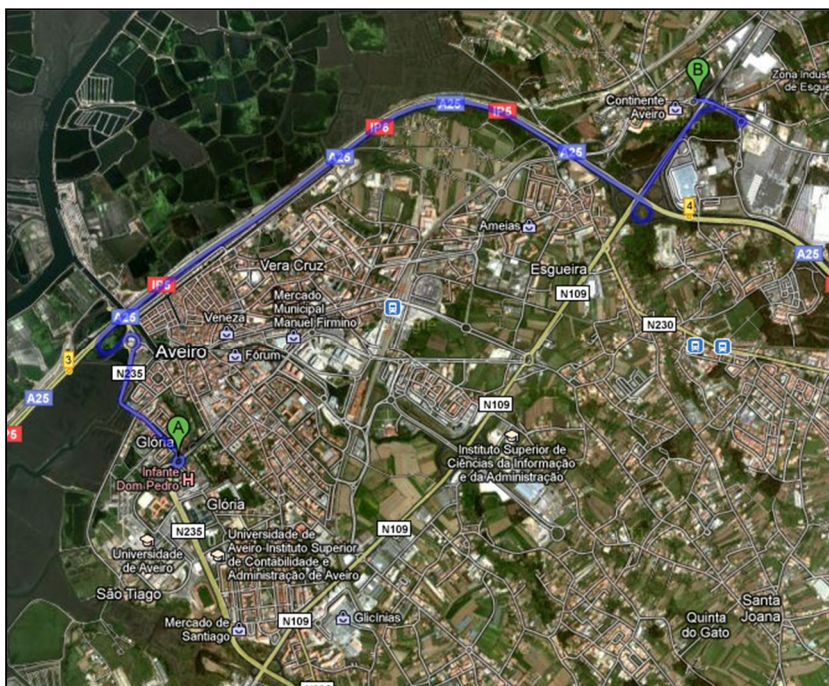


Figura 13 - Trajeto 1 do Circuito Urbano de Aveiro. (Google Inc., 2011)

Em relação ao segundo trajeto, CUA T2 (**Figura 14**), o percurso é efetuado na maior parte em estrada nacional, não sendo assim um percurso totalmente urbano. Esta rota é considerada como intermédia das três pois é a que possui uma velocidade média superior ao percurso totalmente urbano e inferior ao percurso em autoestrada. É também uma estrada com um volume de tráfego razoável nas horas de vazio e com grandes probabilidades de congestionamento na hora de ponta pois é um meio de acesso às localidades vizinhas da cidade de Aveiro. As principais características deste trajeto são:

- ✓ Comprimento de cerca de 6,2 km;
- ✓ 61% do percurso é em estrada nacional (N109);
- ✓ As velocidades são compreendidas entre os 50 e os 70 km/h;
- ✓ Uma boa parte do percurso dispõe de duas vias de circulação em ambos os sentidos;

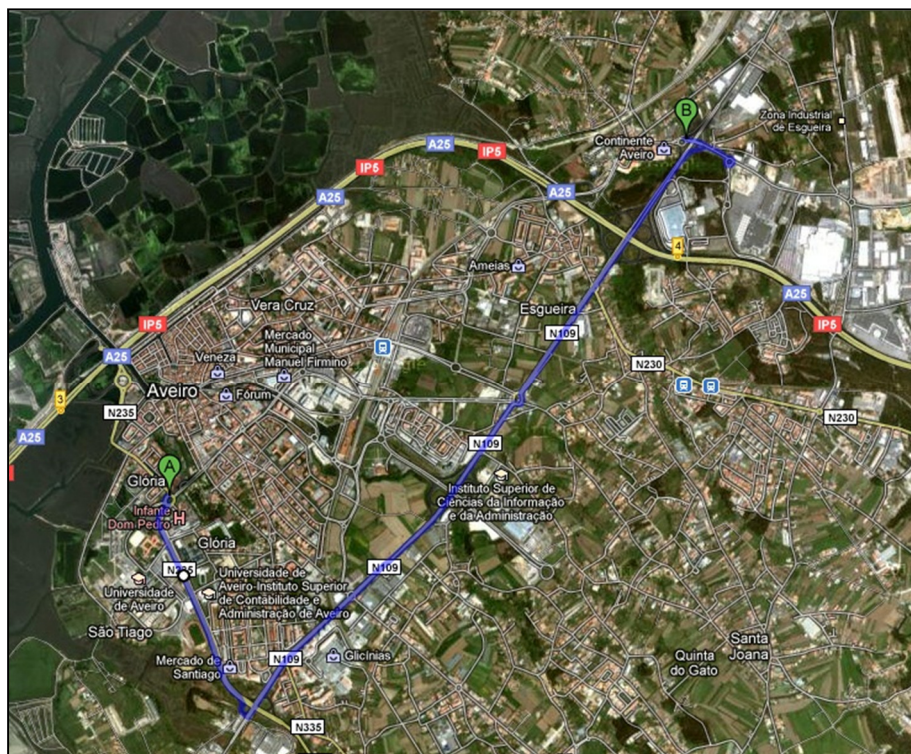


Figura 14 - Trajeto 2 do Circuito Urbano de Aveiro. (Google Inc, 2011)

O terceiro trajeto, CUA T3 (**Figura 15**) é completamente urbano e atravessa o centro da cidade. É um percurso caracterizado por estradas citadinas e que em relação aos outros percursos contém um maior número de sinalização luminosa, cruzamentos, entroncamentos e passadeiras. Outras principais características deste percurso são:

- ✓ Distância média de 4,2 km;
- ✓ É o trajeto mais curto, pois em relação ao T1, este corresponde a cerca de 66,7% do percurso;
- ✓ Os limites de velocidade não ultrapassam os 50 km/h;
- ✓ Apesar de ser o percurso mais curto, não é o mais rápido;
- ✓ Apresenta uma maior densidade de peões como consequência de ser um percurso completamente urbano;

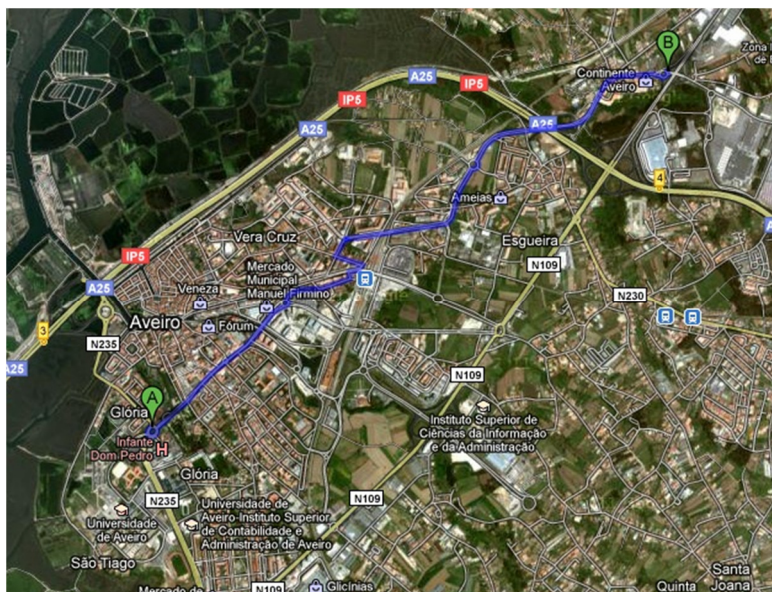


Figura 15 - Trajeto 3 do Circuito Urbano de Aveiro. (Google Inc, 2011)

Para descrever todos os percursos do circuito urbano de Aveiro, abaixo é apresentada uma tabela com descrição do comprimento de cada via assim como os limites de velocidade, número de intersecções, número de vias, etc.

Tabela 4 – Características das rotas do CUA.

Rota	Distância (km)	Limite velocidade/(% distância) (km/h)	Número de vias (% distância)	Interseções			Rampas	
				Total	Sinalização luminosa	Rotundas	Entrada	Saída
CUA T1 (UA- Taboeira)	6,9	50 (29%), 70 (13%), 120 (58%)	2 (29%), 4 (71%)	11	1	4	5	6
CUA T1 (Taboeira- UA)	5,8	50 (32%), 70 (2%), 120 (66%)	2 (32%), 4 (68%)	10	1	3	3	2
CUA T2 (UA- Taboeira)	6,4	50 (66%), 70 (34%)	2 (45%), 4 (55%)	10	1	5	11	15
CUA T2 (Taboeira- UA)	5,7	50 (63%), 70 (37%)	2 (39%), 4 (61%)	8	1	3	9	11
CUA T3 (UA- Taboeira)	4,3	50 (100%)	4 (60%), 2 (40%)	15	3	5	6	5
CUA T3 (Taboeira- UA)	4,1	59 (100%)	4 (60%), 2 (40%)	15	3	5	8	7

3.3.2 Circuito Aveiro-Porto

O circuito Aveiro-Porto (CAP) é também constituído por um par origem/destino, nomeadamente a rotunda da universidade (**Figura 11**) e a rotunda do amial (**Figura 16**). Esta mesma rotunda (Amial) foi definida como ponto de partida e chegada uma vez que se situa no “centro” da via de cintura interna (VCI). A VCI é uma via de extrema importância para a cidade do Porto uma vez que assegura o acesso a todos os principais eixos rodoviários que confluem na cidade do Porto.



Figura 16 - Rotunda do Amial.

Para este circuito foram nomeados quatro trajetos possíveis que servem de ligação às duas cidades, nomeadamente a A1, A29, N109 e N1. É de realçar ainda que todos os trajetos foram testados em hora de ponta e em ambos os sentidos. Com o objetivo de rentabilizar a viagem procurou-se efetuar dois testes de cada vez no sentido Aveiro-Porto e Porto-Aveiro, tendo o seu início em Aveiro às 7h00 e 17h00.

O primeiro trajeto é denominado como CAP T1 e é constituído principalmente pela A1, que é uma autoestrada de extrema importância uma vez que liga as principais cidades do país (Lisboa e Porto). É de sublinhar que este percurso é complementado pela A25 porque é o principal acesso à A1. Assim sendo as principais características deste percurso são:

- ✓ Distância cerca de 70 km;
- ✓ Aproximadamente 91% do percurso é efetuado em autoestrada;
- ✓ Velocidade máxima de 120 km/h;
- ✓ No mínimo duas vias de circulação em grande parte do percurso;
- ✓ Portagens, com um custo associado de 3,20€;

CAP T2 é a denominação do segundo trajeto e é caracterizado essencialmente pela ex-scut A29, pois recentemente a sua utilização começou a ser taxada. O seu principal acesso também é a A25 e a A44 como acesso direto à A1. Todo este trajeto é efetuado em autoestrada sendo uma alternativa à A1 e sendo também um percurso paralelo à mesma. Este percurso é principalmente assinalado por:

- ✓ Distância de 76.6 km
- ✓ Velocidade limite de 100 km/h na aproximação da cidade do Porto;
- ✓ Considerável número de curvas;
- ✓ Pavimento com menor qualidade que A1;
- ✓ Portagens eletrónicas;

Para se obter uma viagem com menos custos associados recorre-se às estradas nacionais. O terceiro trajeto denominado por CUA T3 é um percurso que consiste maioritariamente na estrada N1. Também este percurso tem como acesso à N1 a A25 entre Aveiro e Albergaria assim como ainda conta com o acesso da A1 e A20 para a VCI, pelo que este mesmo trajeto irá ter custos de portagens relativos à ex-scut A25 e com um custo de 0,50€. As suas principais características são:

- ✓ Distância média de 87,3 km;
- ✓ Cerca de 34% do percurso é efetuado em autoestrada;
- ✓ Em relação aos outros percursos este é o mais longo com cerca de 10 km a mais;
- ✓ Ao implicar a passagem por diversas localidades implica também um elevado número de cruzamentos, entroncamentos e rampas;
- ✓ Em algumas zonas do percurso a densidade de tráfego é elevada uma vez que existe apenas uma via de circulação, diminuindo a capacidade da infraestrutura, o que leva à diminuição da velocidade de circulação e à ocorrência de longas filas de trânsito;
- ✓ Apesar de estarem a decorrer obras de beneficiação num troço de cerca 2 km na localidade de Albergaria-a-Velha, o estado de conservação do pavimento é bastante razoável;

Por último, o quarto trajeto, CAP T4 é principalmente constituído pela estrada N109 procurando assim evitar qualquer troço em autoestrada. Assim, haverá consequências a nível de tempo de viagem. As principais características deste trajeto são:

- ✓ Distância média de 75,5 km;
- ✓ Apenas 3 % do percurso é efetuado em autoestrada, sendo o acesso à VCI;
- ✓ Limites máximos de velocidade de 50 e 70 km/h na maior parte do trajeto;
- ✓ Elevado número de intersecções;
- ✓ Cerca de 90% do percurso é efetuado em zonas residenciais e industriais.

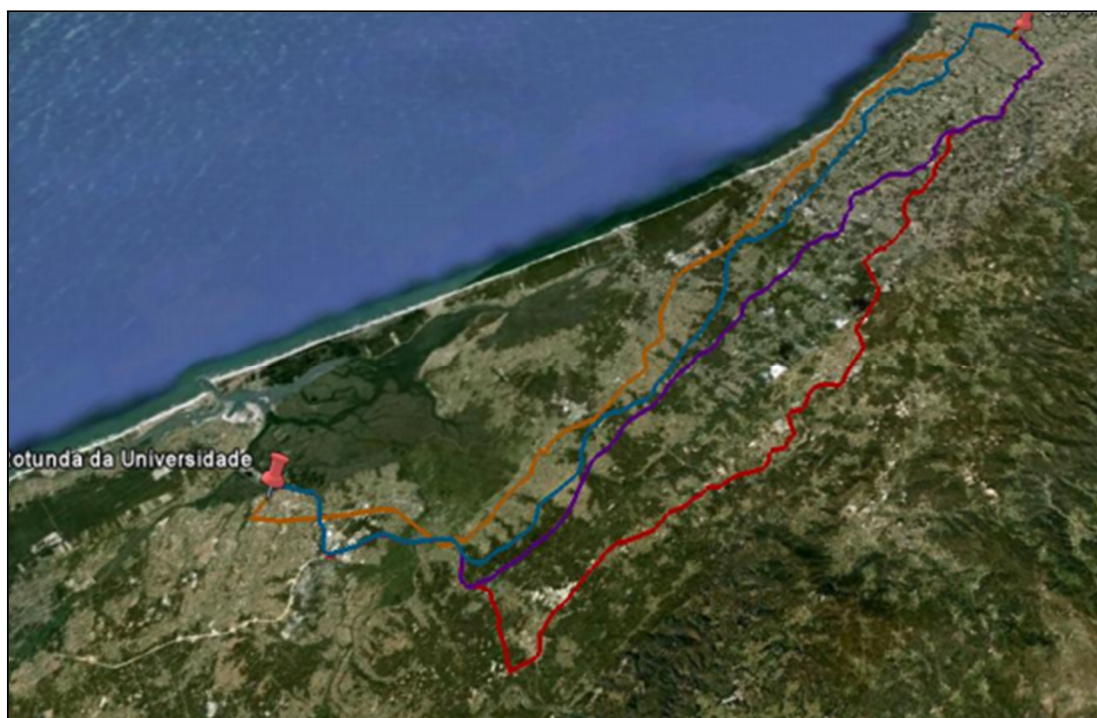


Figura 17 - Ilustração dos trajetos do Circuito Aveiro-Porto. (Almeida, 2010)

À semelhança do demonstrado no capítulo anterior, e para uma melhor caracterização do CAP, abaixo é exposta uma tabela com a caracterização das quatro rotas deste circuito.

Tabela 5 - Características das rotas do CAP.

Rota	Distância (km)	Limite velocidade/(% distância) (km/h)	Número de vias (% distância)	Interseções			Rampas	
				Total	Sinalização luminosa	Rotundas	Entrada	Saída
CAP T1	77,1	50 (2%), 90 (7%), 120 (91%)	2 (2%), 4 (82%), 6 (7%), 8 (8%)	9	1	3	26	26
CAP T2	77,0	50 (2%), 90 (7%), 100-120 (91%)	2 (2%), 4 (87%), 6 (11%)	9	1	2	35	33
CAP T3	87,7	50 (2%), 50-70 (58%), 90 (7%), 120 (33%)	2 (48%), 3 (12%), 4 (12%), 6 (7%)	135	20	7	48	58
CAP T4	75,7	50 (23%), 50-70 (68%), 90 (6%), 120 (3%)	2 (88%), 4 (2%), 6 (10%)	275	46	19	47	45

Para além da caracterização dos trajetos apresenta-se ainda a tabela seguinte com todos os testes efetuados:

Tabela 6 - Total de testes efetuados.

Hora	Condutor	Veículo	CUA 1	CUA 2	CUA 3	CAP 1	CAP 2	CAP 3	CAP 4
Ponta	C	Yaris	22	22	22	9	9	8	8
Ponta	B	Corsa	7	8	8	6	8	6	6
Vazio	A	Prius	16	16	16	6	6	6	6

3.4 Potência específica do veículo (VSP-“Vehicle Specific Power”)

Como já foi referido no capítulo 2.3, a potência específica do veículo, tem como finalidade estimar as emissões segundo a segundo de veículos a gasolina e a diesel. A potência específica é o primeiro passo desta metodologia e é calculada então pelos parâmetros dinâmicos do veículo como demonstra a expressão:

$$VSP = v[1,1 \times a + 9,81 \times (\arctan(\sin(\text{grade}))) + 0,132] + 0,000302 \times v^3$$

- ✓ VSP é a potência específica do veículo em kW / ton
- ✓ v é a velocidade do veículo em m/s
- ✓ a é a aceleração do veículo em m^2/s
- ✓ $grade$ é o declive em %

Os termos representam a potência do motor através da energia cinética, inclinação do plano e arrasto aerodinâmico. Calculada a potência específica em cada segundo, é necessário identificá-la com um dos modos VSP.

No desenvolvimento dos modos VSP, o primeiro passo foi explorar a relação entre a potência específica do veículo e as emissões. Nas **figuras 18-21** é possível verificar a relação entre VSP e as emissões de HC, NO, CO e CO₂ (NCSU,2002).

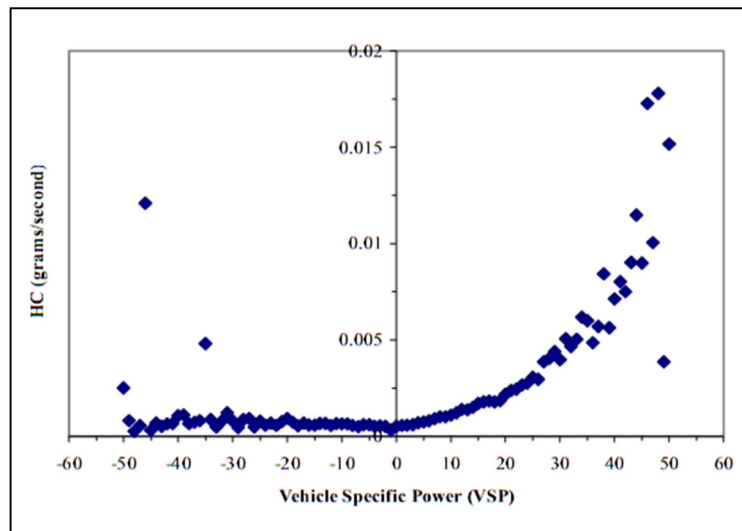


Figura 18 - Relação entre valores VSP e emissões de HC (NCSU, 2002)

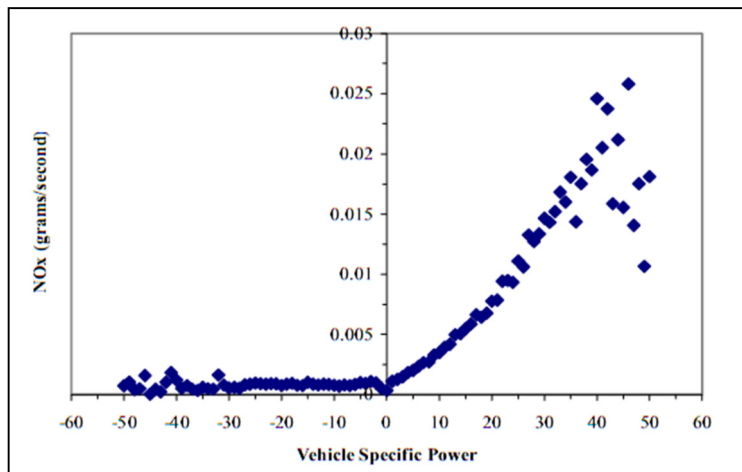


Figura 19- Relação entre valores VSP e emissões de NO_x (NCSU, 2002)

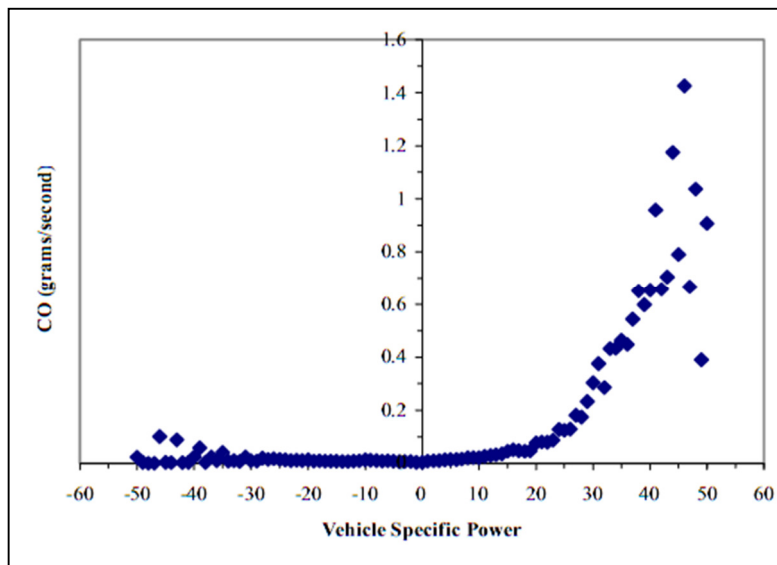


Figura 20- Relação entre valores VSP e emissões de CO (NCSU, 2002)

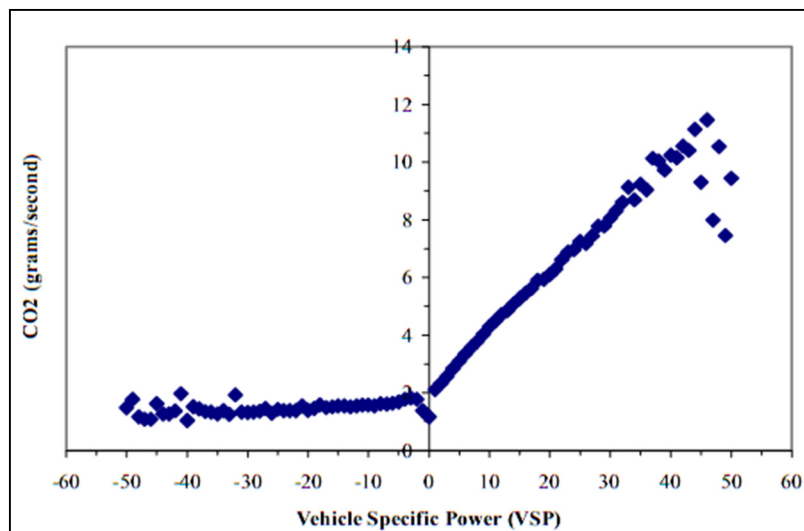


Figura 21-Relação entre valores VSP e emissões de CO₂ (NCSU, 2002)

Nas figuras anteriores é visível que os dados VSP foram discretizados por cada kW/ton num intervalo de -50 (kW/ton) a +50 (kW/ton) constando assim a média de valores. Através destas mesmas Figuras conclui-se ainda que todos os poluentes aumentam as suas emissões quase uniformemente quando a potência específica aumenta de forma positiva. As emissões tendem a ser muito baixas para valores negativos da potência específica sofrendo aumentos para valores positivos. Nas figuras referentes ao CO₂ e NO_x, para valores muito elevados da potência específica do veículo as respetivas emissões registam uma maior dispersão e o seu valor médio diminui.

O segundo passo desta metodologia para estimar as emissões de um veículo segundo a segundo passa pelo agrupamento da potência específica em modos uma vez que esta foi identificada a variável mais importante e explicativa para o resultado final. Do ponto de vista prático não é útil ter grupos com taxas médias de emissões semelhantes, uma vez que o objetivo é explicar a variabilidade das emissões. Foi então adotada uma aproximação que teve em conta duas considerações:

- ✓ Idealmente, cada modo deve ter uma diferença estatística significativa comparativamente a outros modos;
- ✓ Um único modo não deve dominar a estimacão de emissões totais para uma viagem típica.

Para ter em conta a segunda consideração, decidiu-se que nenhum modo deve traduzir mais de 10% das emissões totais. Assim sendo estão definidos os modos VSP como se podem verificar na tabela abaixo.

Tabela 7-Definição dos modos VSP.

Modo VSP	Definição
1	VSP < -2
2	-2 ≤ VSP < 0
3	0 ≤ VSP < 1
4	1 ≤ VSP < 4
5	4 ≤ VSP < 7
6	7 ≤ VSP < 10
7	10 ≤ VSP < 13
8	13 ≤ VSP < 16
9	16 ≤ VSP < 19
10	19 ≤ VSP < 23
11	23 ≤ VSP < 28
12	28 ≤ VSP < 33
13	33 ≤ VSP < 39
14	39 ≤ VSP

Visualizando as figuras abaixo é possível verificar as emissões médias por modo VSP. Em todos os poluentes verifica-se que as emissões decrescem do primeiro para o terceiro modo, o que significa que os modos um e dois correspondem a acelerações negativas (travagens) ou descidas, e o modo três corresponde às situações de velocidades reduzidas ou pára arranca.

Existe também um aumento de emissões à medida que o modo VSP avança desde 4 a 14, para todos os poluentes.

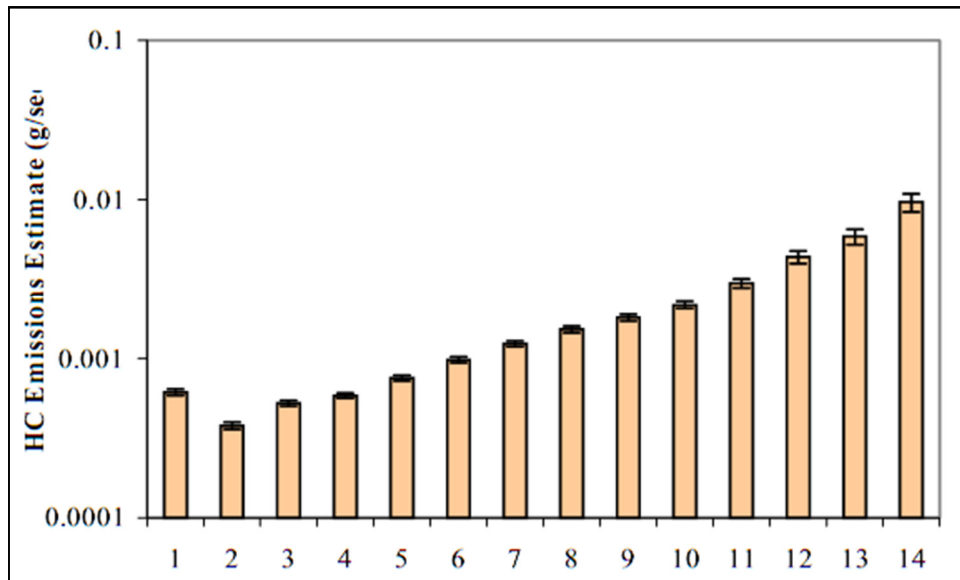


Figura 22-Taxas de emissão média de HC por modo VSP para veículos a gasolina <3,5 L. (NCSU,2002)

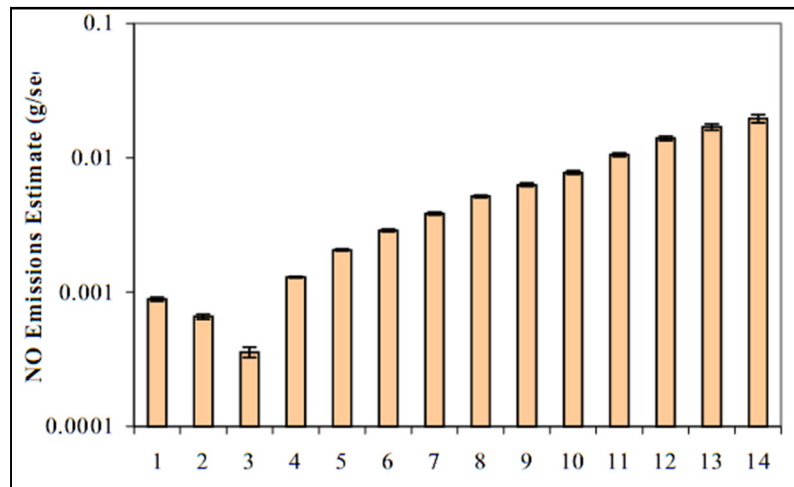


Figura 23-Taxas de emissão média de NO_x por modo VSP para veículos a gasolina <3,5 L. (NCSU,2002)

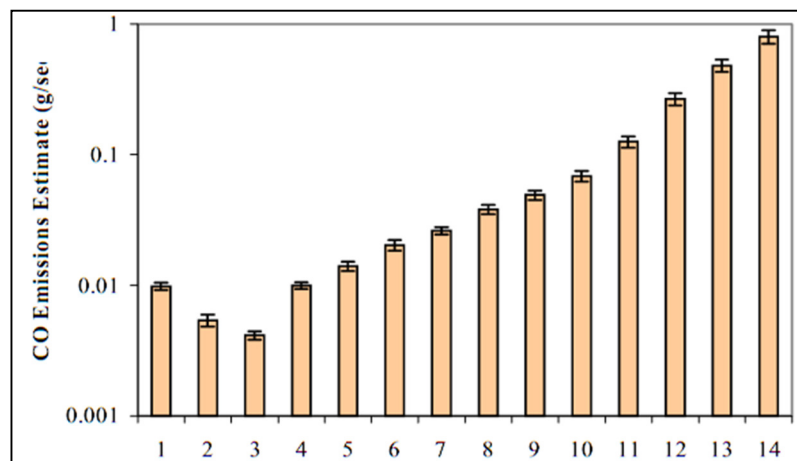


Figura 24-Taxas de emissão média de CO por modo VSP para veículos a gasolina <3,5 L. (NCSU,2002)

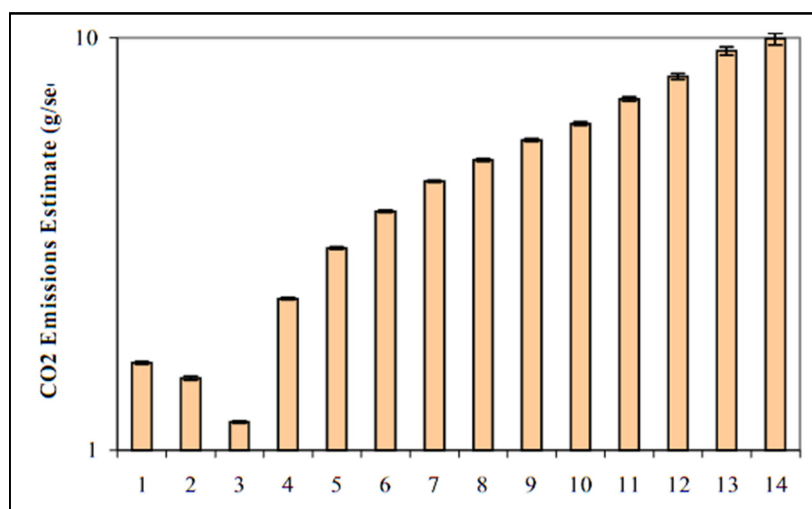


Figura 25-Taxas de emissão média de CO₂ por modo VSP para veículos a gasolina <3,5 L. (NCSU,2002)

Devido à diferente sensibilidade de definições modais entre poluentes, há alguns casos em que um modo contribui mais de 10% para as emissões totais, o que vai contra as considerações tomadas inicialmente. Para os modos mais elevados da potência específica do veículo, assim como os modos 12, 13 e 14, aproximadamente 10% das emissões totais de CO em conjunto com os dados de calibração são contabilizados, obtendo assim um total de mais de 30% das emissões totais de CO. Assim, os modos VSP mais elevados têm um impacto mais elevado nas emissões totais de CO, o que faz sentido uma vez que um valor mais elevado da variável VSP é associado a um aumento da frequência o que tende a ter maior impacto nas emissões de CO do que como por exemplo nas emissões de NO_x. Esta aproximação foi apenas efetuada para veículos ligeiros a gasolina. (NCSU, 2002)

Como foi referido no capítulo 2.3, Coelho et al. (2009) calcularam as taxas de emissão para veículos diesel, verificando assim a aplicação da metodologia VSP aos mesmos. Neste estudo os autores apresentam tal quantificação apenas para os onze primeiros modos VSP uma vez que a quantidade de amostras para os modos VSP de 12 a 14 era reduzida, o que tornaria o valor de taxa média de emissão pouco fiável. Tiago Almeida (2010) extrapolou todos os poluentes para os modos 12, 13 e 14 excetuando o CO uma vez que não possui uma distribuição regular em função da velocidade. Para as taxas de emissão médias para os modos 12 a 14 do CO, realizou várias regressões com objetivo de obter uma linha de tendência. Nas figuras seguintes são apresentadas as taxas de emissão para os 14 modos e todos os poluentes em causa.

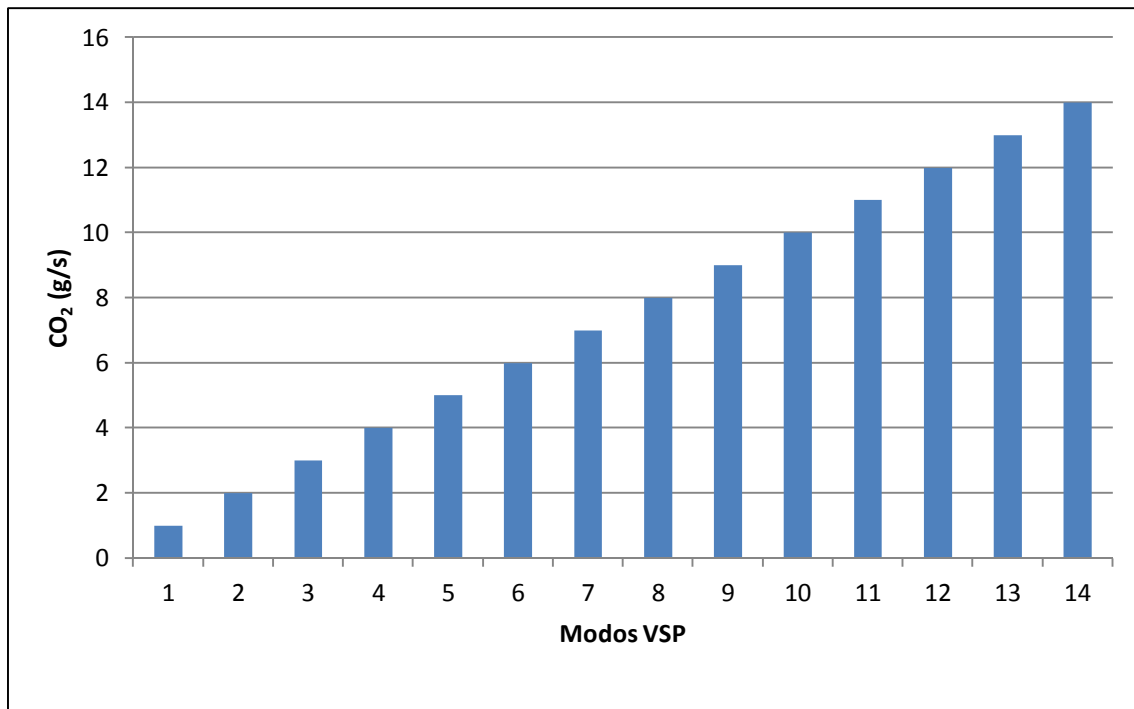


Figura 26 - Taxas de emissão média modal de CO₂ para Skoda Octavia TDI. (Coelho et al.,2009)

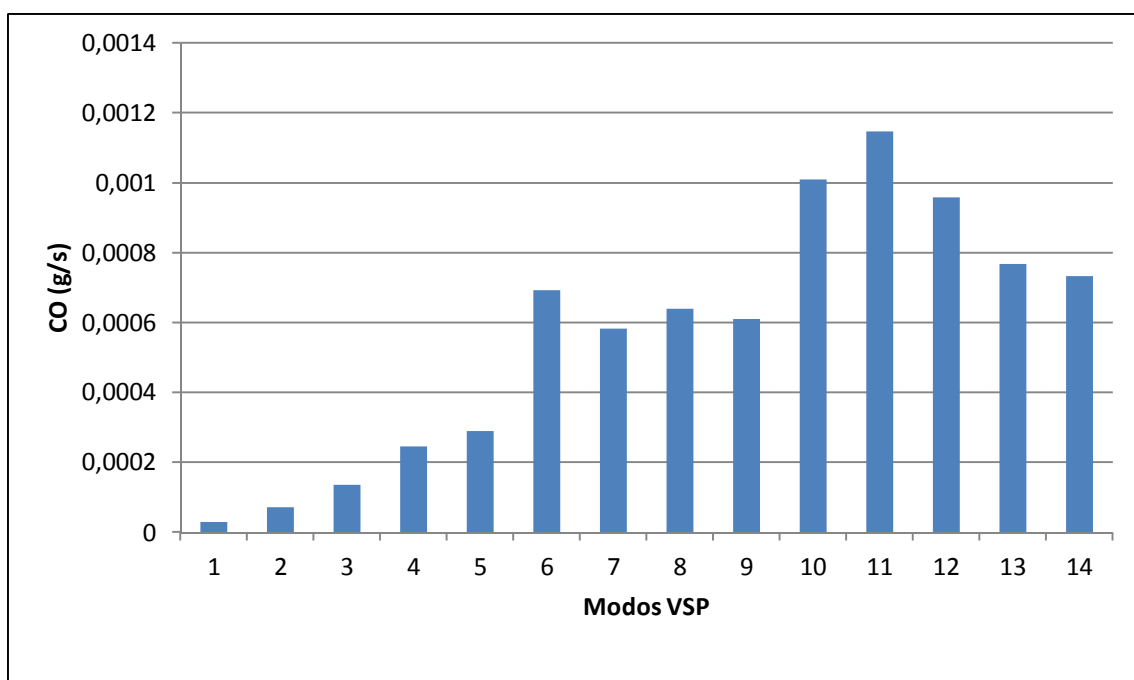


Figura 27 - Taxas de emissão média modal de CO para Skoda Octavia TDI. (Coelho et al.,2009)

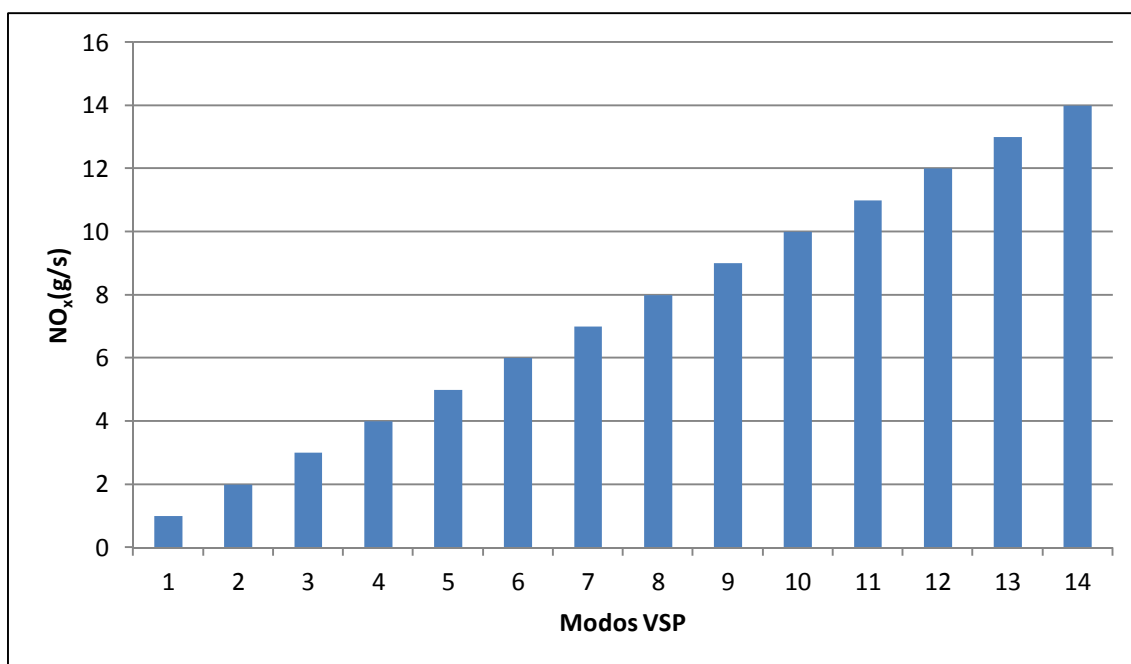
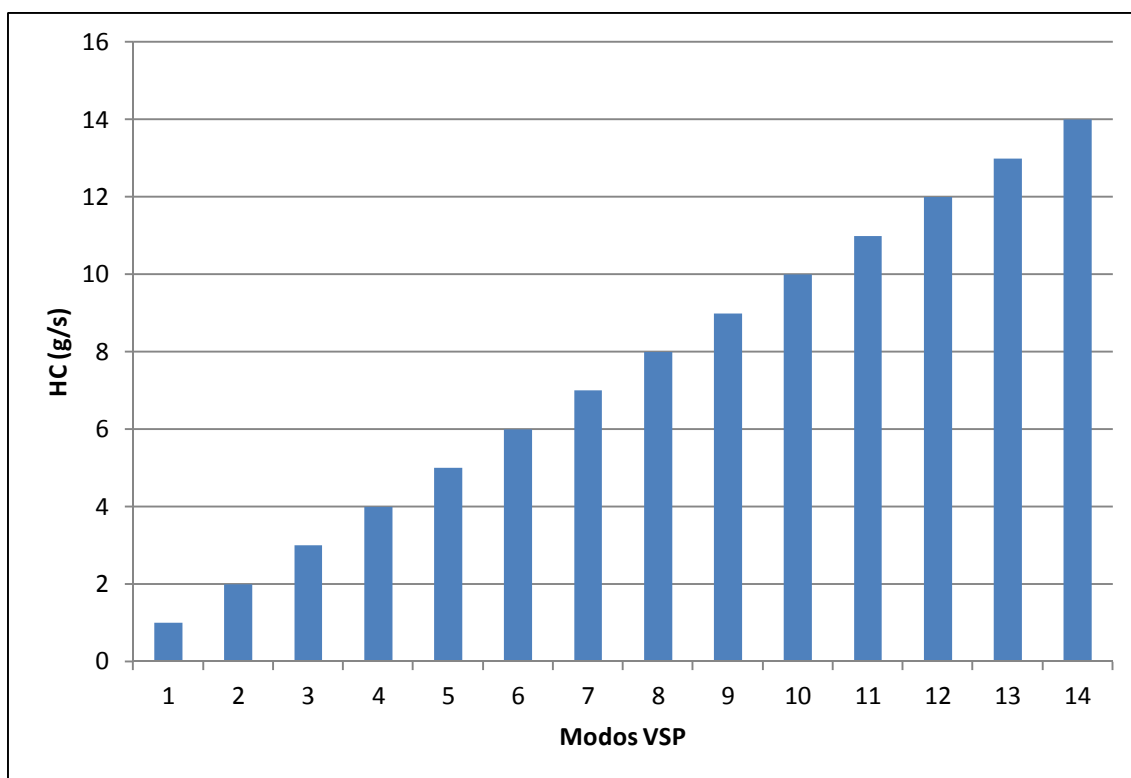
Figura 28 - Taxas de emissão média modal de NO_x para Skoda Octavia TDI. (Coelho et al.,2009)

Figura 29 - Taxas de emissão média modal de HC para Skoda Octavia TDI. (Coelho et al.,2009)

Na presente Dissertação, as emissões foram estimadas segundo a segundo com esta metodologia. Considerou-se individualmente cada poluente para cada percurso e em cada sentido. Consequentemente a potência específica foi calculada também segundo a segundo e no total de cada percurso as emissões totais serão o somatório de todos os segundos do percurso.

3.5 Horários de Ponta

Este capítulo tem como objetivo esclarecer qual a hora do dia mais favorável para a execução dos testes da componente experimental da presente dissertação.

O estudo realizado pelo INE (2000) identifica três períodos com maior intensidade de tráfego que correspondem aos períodos das 7h-9h, 12h-13h e das 18h-19h, como se pode verificar na figura abaixo.

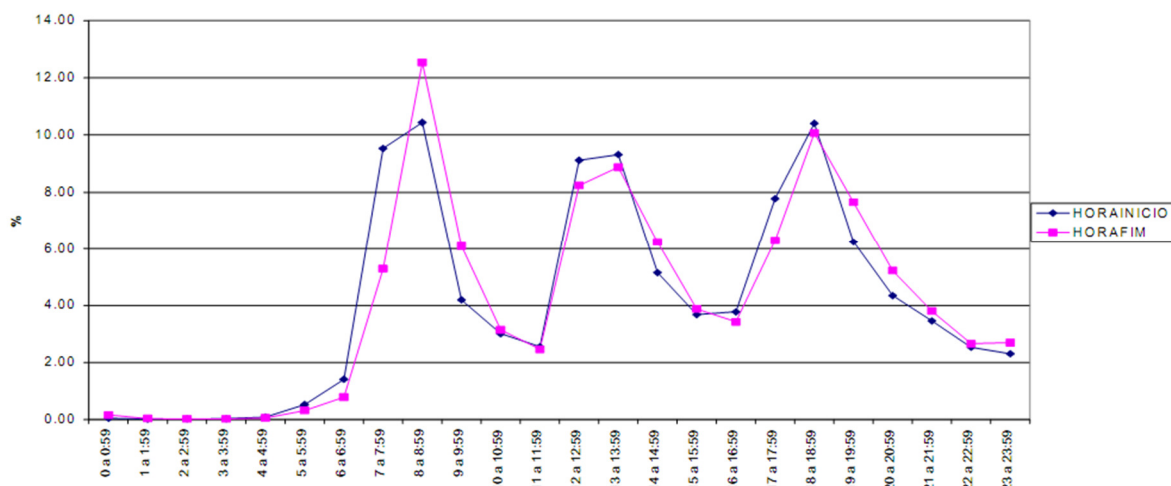


Figura 30- Distribuição das viagens dos dias úteis pelas horas de início e fim. (INE,2000)

Através da figura anterior é possível identificar os períodos de ponta na Área Metropolitana do Porto (AMP). Com base nesta informação definiu-se o período em que deveriam ser executados os testes nos percursos CAP. Para caracterizar a zona de Aveiro, utilizou-se o perfil de tráfego semanal na cidade de Aveiro, considerando a monitorização efetuada pela Câmara Municipal de Aveiro em 5 cruzamentos da cidade. As contagens ocorreram nos meses de Outubro e Novembro de 2008 (**Figura 31**).

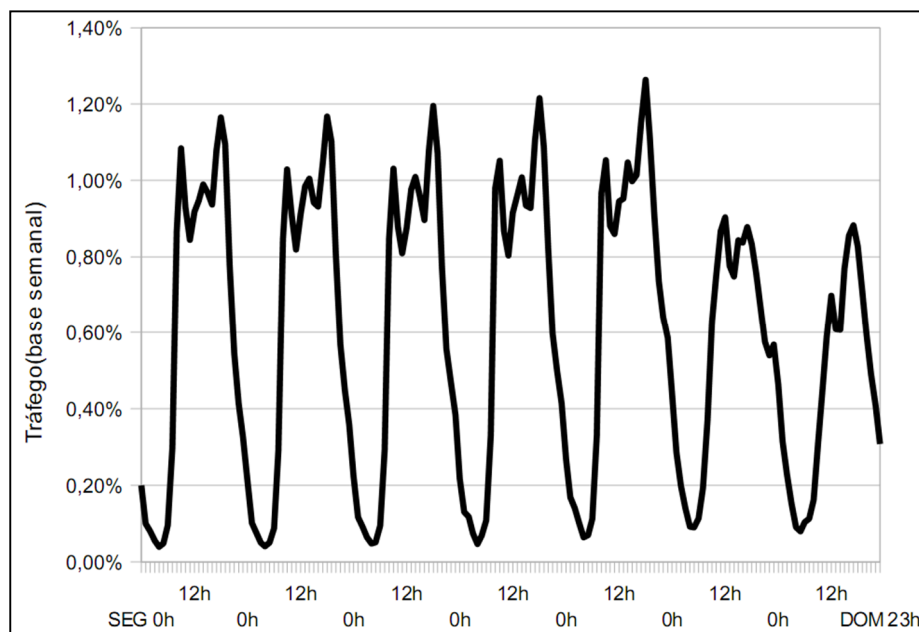


Figura 31 - Perfil semanal de tráfego. (Soares et al. 2008)

Através da Figura anterior é visível que o tráfego na Cidade de Aveiro vai crescendo até sexta-feira, mantendo os seus picos diários. Com o objetivo de efetuar as medições com um fluxo de tráfego mais constante possível, todos os testes foram efetuados apenas de terça a quinta-feira. Relativamente aos períodos de ponta nos dias úteis Bandeira (2009) apresentou o perfil diário de tráfego construído numa base horária, considerando as medições de terça a quinta-feira.

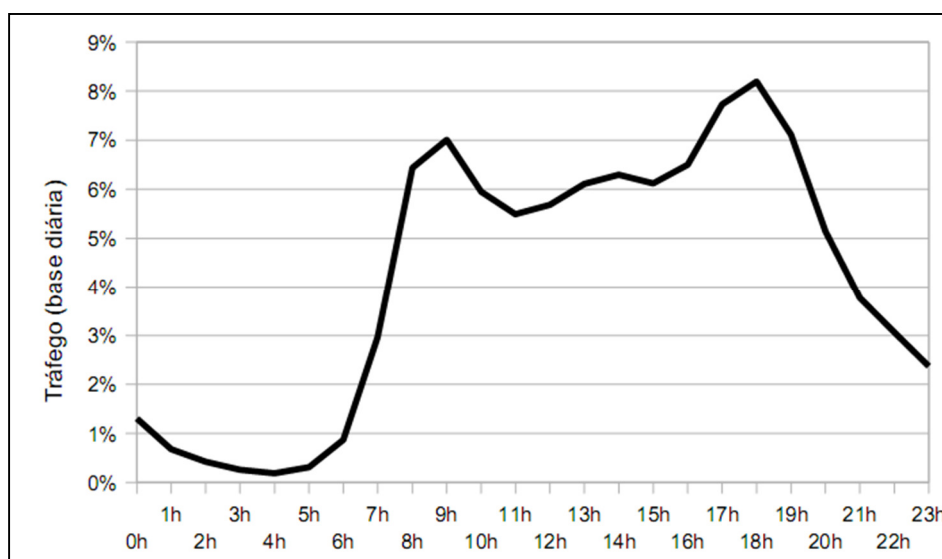


Figura 32 - Perfil diário de tráfego. (Soares et al. 2008)

A Figura anterior demonstra o perfil urbano com dois picos diários que correspondem às horas de ponta da manhã e da tarde. Assim sendo procurou-se realizar os testes de terça a quinta-feira durante os dois períodos de ponta das 8h15 até as 9h15 e das 18h até as 19h.

4. Resultados e Discussão

A finalidade deste capítulo é a comparação geral dos percursos entre a hora de ponta e a hora de vazio. No Anexo I está incluído um resumo dos resultados obtidos por Almeida (2010) e seguidamente serão apresentados os resultados obtidos em hora de ponta para se proceder finalmente a uma comparação. As comparações têm como base fundamental a distribuição das frequências modais VSP, consumos e emissões, tempos de viagem e volumes de tráfego.

4.1 Comparação de dispositivos

Durante a realização da componente experimental considerou-se oportuno realizar simultaneamente testes em rotas alternativas no sentido de uma avaliação mais rigorosa e mais justa das diferentes rotas. Para tal foi necessária a utilização de duas viaturas e dois dispositivos GPS *data logger*. Além das inevitáveis diferenças nos estilos de condução dos condutores e características dos veículos, outros erros adicionais poderiam surgir da utilização de diferentes dispositivos de medição da posição do veículo.

Com o objetivo de verificar possíveis diferenças significativas no cálculo das emissões em função da utilização dos diferentes dispositivos, numa primeira fase procedeu-se à recolha simultânea de dados com os dois dispositivos. A **Figura 33** e a **Figura 34** apresentam os desvios verificados em rotas distintas (CAP T2 e CAP T3, respetivamente).

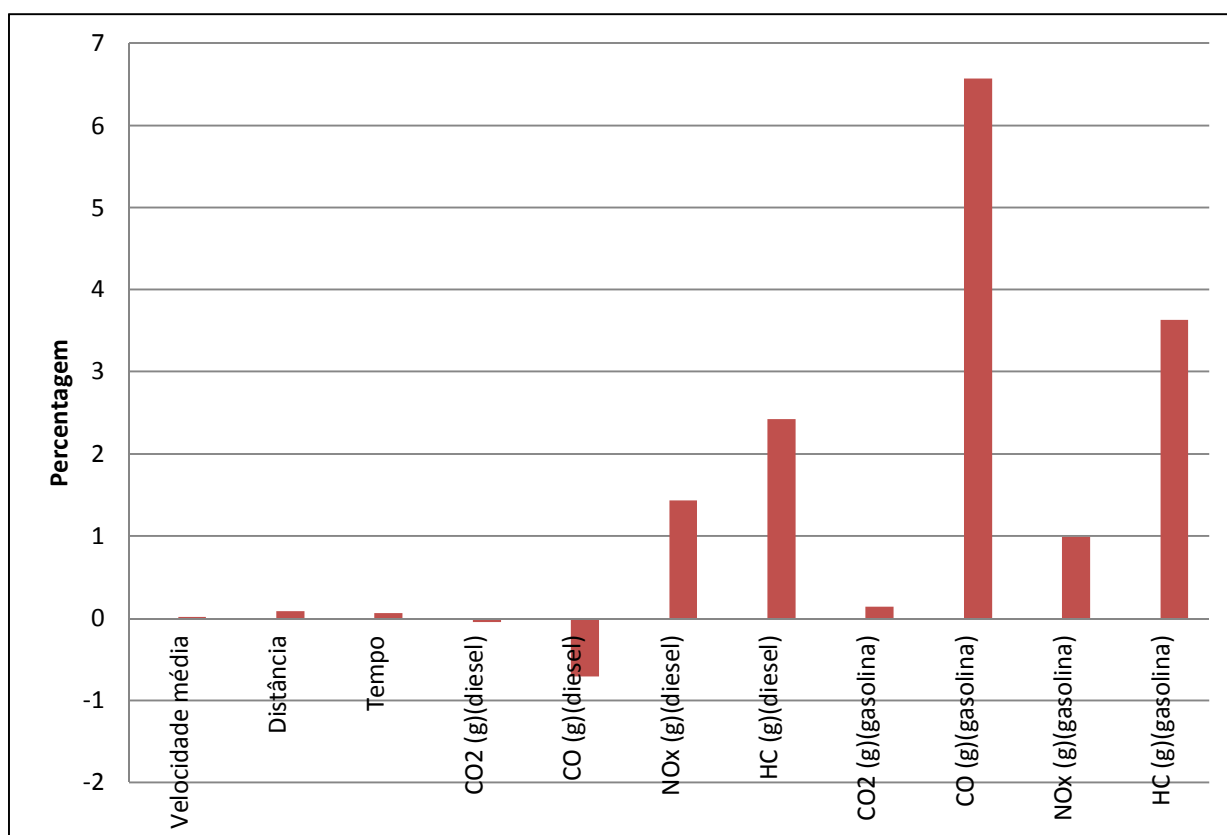


Figura 33-Diferenças entre aparelhos GPS do CAP T2.

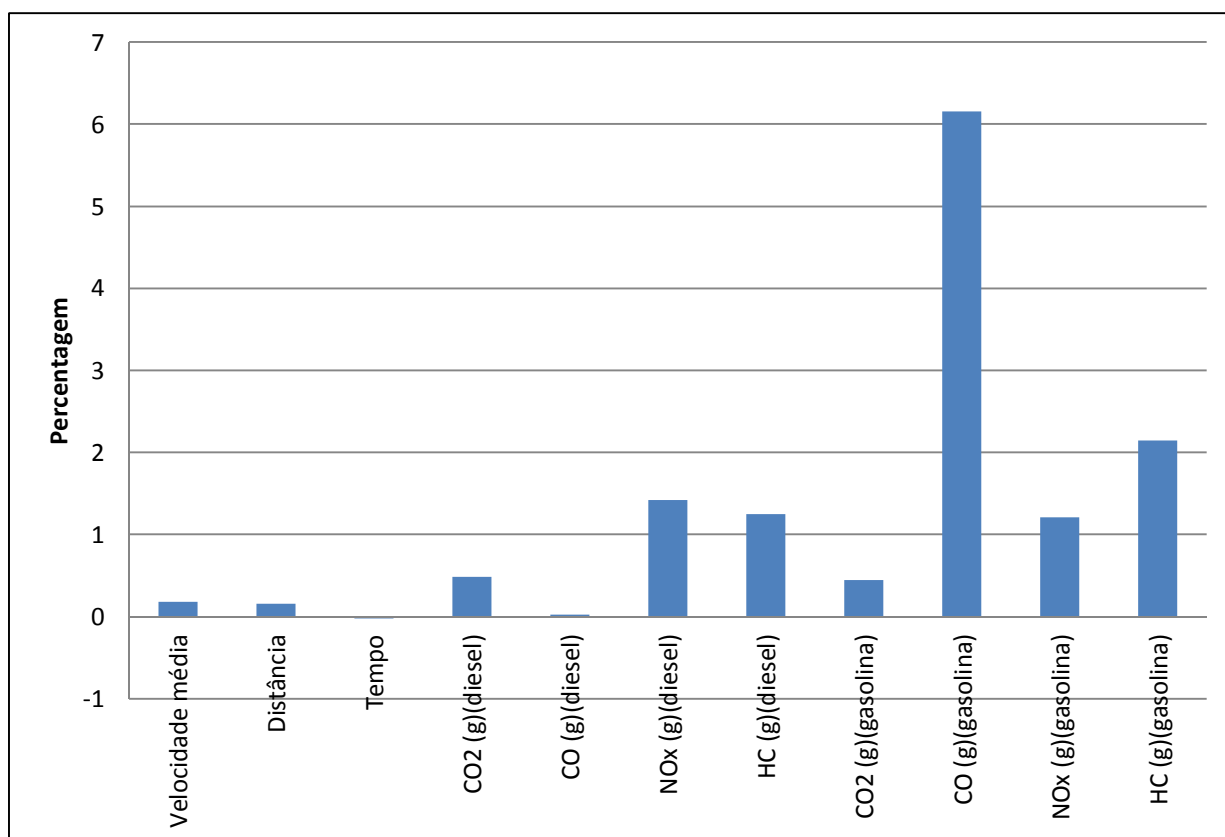


Figura 34 - Diferenças entre aparelhos GPS do CAP T3.

Analisando as Figuras anteriores, verifica-se que para ambos os percursos, as diferenças entre os dois dispositivos atinge um erro inferior a 4% para todos os poluentes, excetuando o CO. Note-se que uma vez que as emissões de CO são mais sensíveis a variações dos modos VSP, justifica assim as maiores diferenças observadas chegando a um erro relativo máximo de cerca de 7%.

4.2 Resultados em hora de ponta

Nesta secção são apresentados os resultados dos testes efetuados em hora de ponta para o Circuito Urbano de Aveiro e para o Circuito Aveiro-Porto. A apresentação dos resultados pretende seguir a mesma linha de apresentação que os resultados apresentados por Almeida (2010), para facultar uma comparação mais clara e eficiente de resultados.

4.2.1 Circuito Urbano de Aveiro em hora de ponta

O primeiro trajeto, CUA T1, realizado na sua maioria pela A25 apresenta um perfil de velocidades um pouco variado como exemplifica a **Figura 36**.

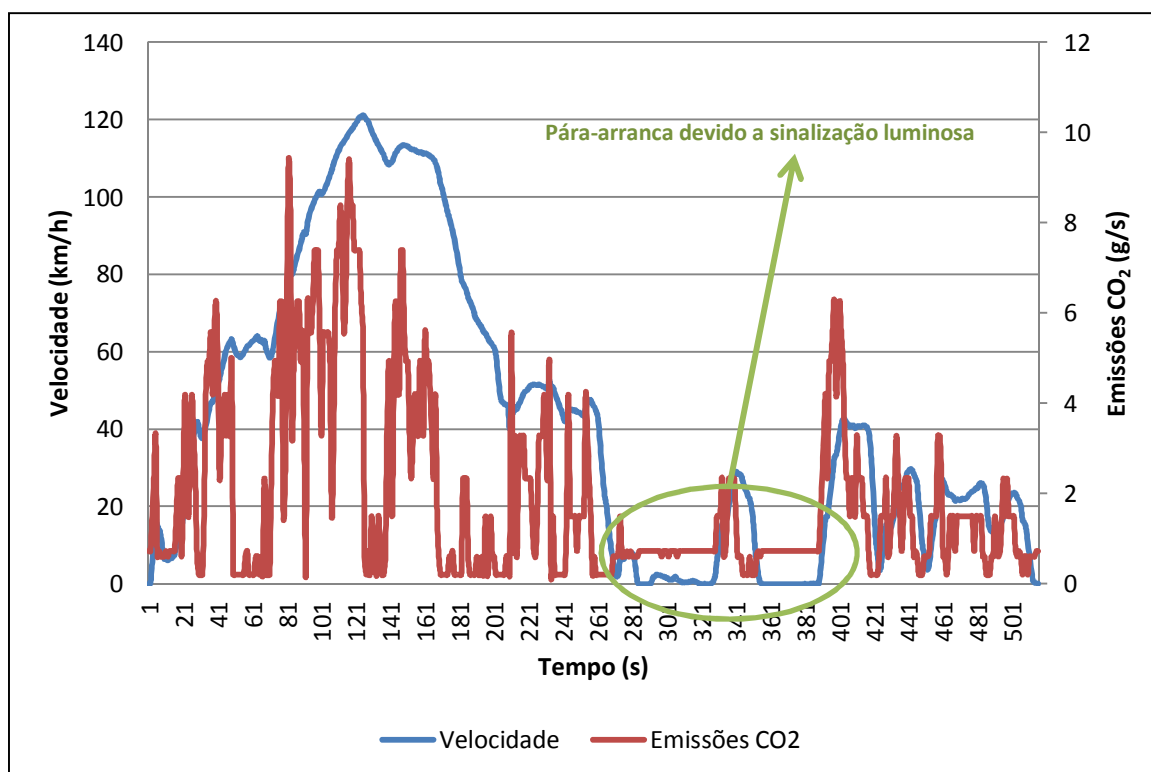


Figura 35 - Perfil de velocidade e emissões do CUA T1 em hora de ponta (Taboeira-UA).

Ao analisar a figura anterior verifica-se que numa primeira fase é mantida uma velocidade de cerca de 60 km/h que corresponde ao acesso à A25 efetuado pela N109. É então atingido um limite de velocidade de 120 km/h na autoestrada A25 seguida de desaceleração pois é o resultado da presença de tráfego até à saída pretendida. É notório também algumas situações de pára-arranca devido ao cruzamento semaforizado na rua *Condessa Mumadona* (**Figura 36**), junto à rotunda de acesso à A25, que representa cerca de 21% do tempo total do percurso. Em relação às emissões de CO₂, verifica-se maiores taxas de emissões na fase inicial do percurso pois as velocidades são mais elevadas. Verifica-se ainda um pico na taxa de emissões de CO₂ após a sinalização luminosa. Na fase final do percurso verifica-se ainda variações bruscas de velocidade o que é devido à presença de peões e de algum tráfego presente na rotunda da Universidade.



Figura 36 - Fila intensa derivada de sinalização luminosa na rua *Condessa Mumadona*.

No que diz respeito ao percurso CUA T2, que é caracterizado na sua maioria pela estrada N109, obteve-se um perfil de velocidades com algumas variações bruscas como é representado na **Figura 37**.

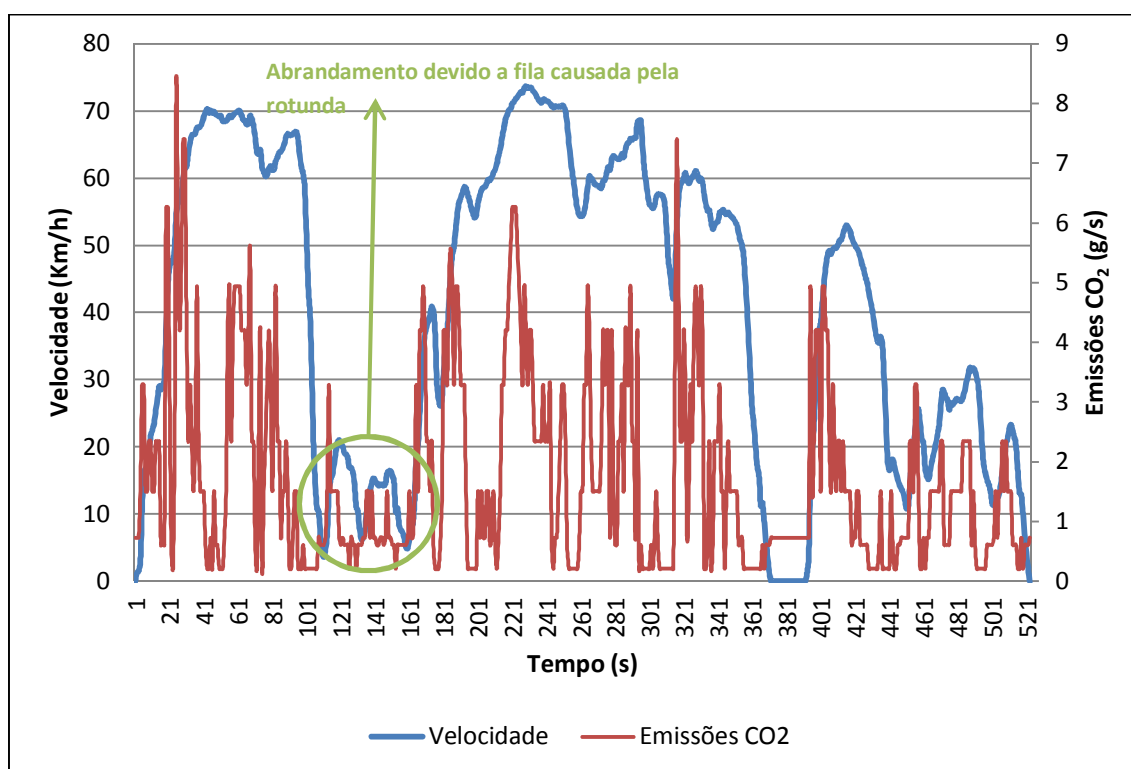


Figura 37 - Perfil de velocidade e emissões CO₂ no CUA T2 em hora de ponta (Taboeira-UA).

Analisando a figura anterior as maiores variações de velocidade verificam-se devido à presença de fila na aproximação de uma rotunda (**Figura 38**) e outra grande variação entre os segundos 365 e 400 devido a sinalização luminosa (**Figura 39**). Verifica-se a presença de tráfego uma vez que não se verifica regularidade de velocidade em qualquer parte do trajeto. Quanto a nível de emissões também apresentam um perfil variável assim como a velocidade e na presença de

congestionamento a velocidade diminui assim as emissões de CO₂ contribuindo com alguns picos durante as acelerações.

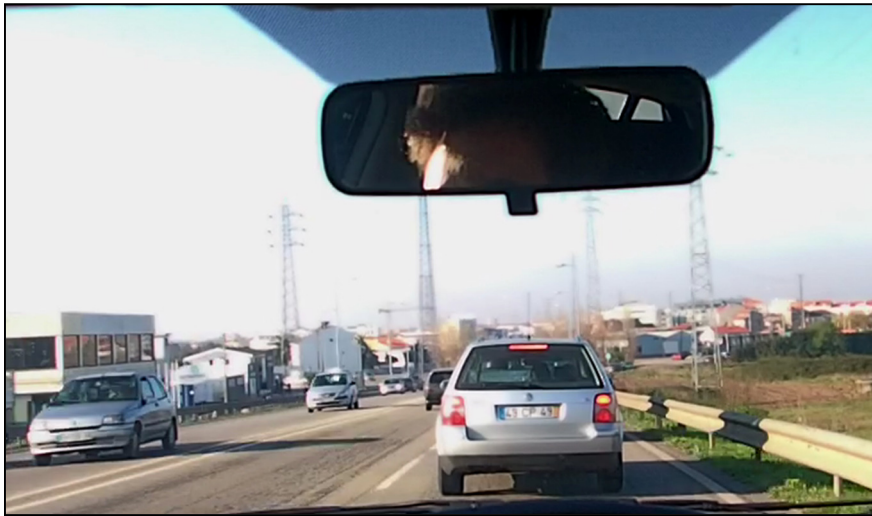


Figura 38 - Presença de fila na aproximação de rotunda.



Figura 39 - Sinalização luminosa na avenida da Universidade.

No sentido UA-Taboeira verificam-se ainda mais variações devido ao elevado volume de tráfego (**Figura 40**).

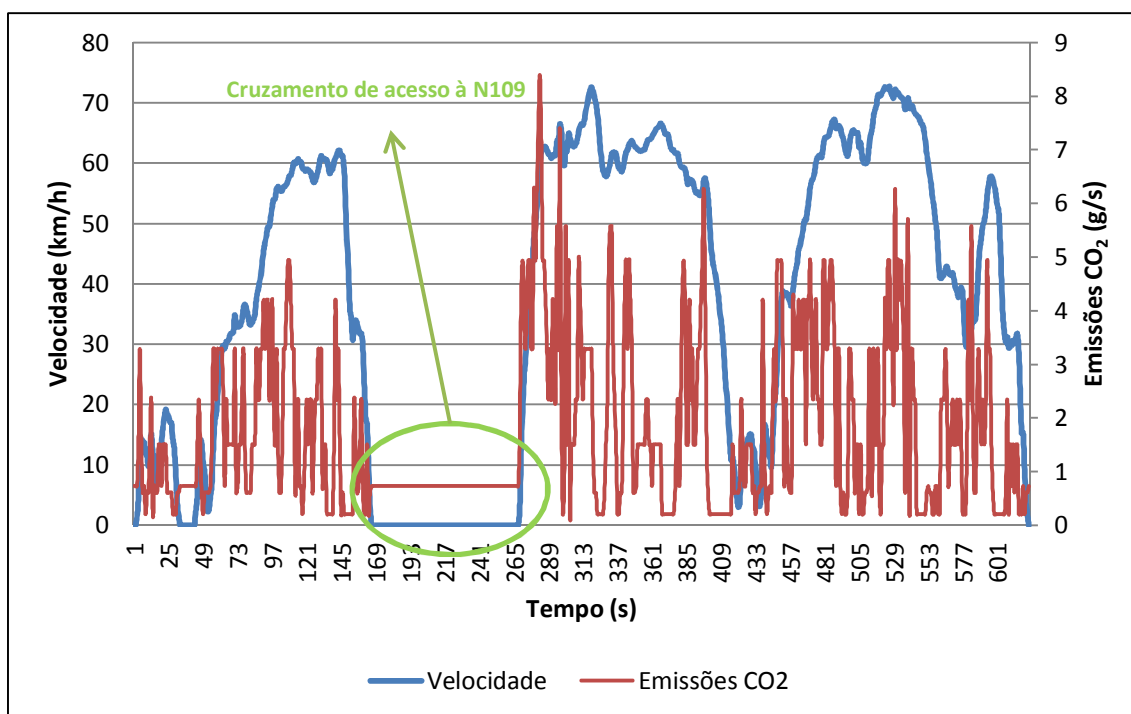


Figura 40 - Perfil de velocidade e emissões do CUA T2 em hora de ponta (UA-Taboeira).

Fazendo uma análise geral ao percurso CUA T2 no sentido UA-Taboeira, verifica-se uma série de discontinuidades sendo logo a primeira resultante de um elevado fluxo de tráfego na rotunda da universidade dificultando a entrada na mesma. Verifica-se uma paragem demorada que corresponde ao acesso à estrada N109 que é assinalado assim como um ponto crítico deste trajeto. Devido à grande afluência de veículos nesta mesma via, o tempo de espera para a entrada na via corresponde a cerca de 17% do tempo total de viagem. Verifica-se ainda um terceiro momento crítico correspondente ao congestionamento da rotunda entre os segundos 417 e 440. (Figura 40).



Figura 41 - Congestionamento na aproximação de Rotunda no trajeto CUA T2 (UA-Taboeira).

A nível de emissões verifica-se uma grande variabilidade, mais uma vez, as emissões tendem a ser maiores quando a velocidade é mais elevada. Observando a Figura abaixo é visível que os picos de aceleração induzem os picos de emissões, neste caso de CO₂.

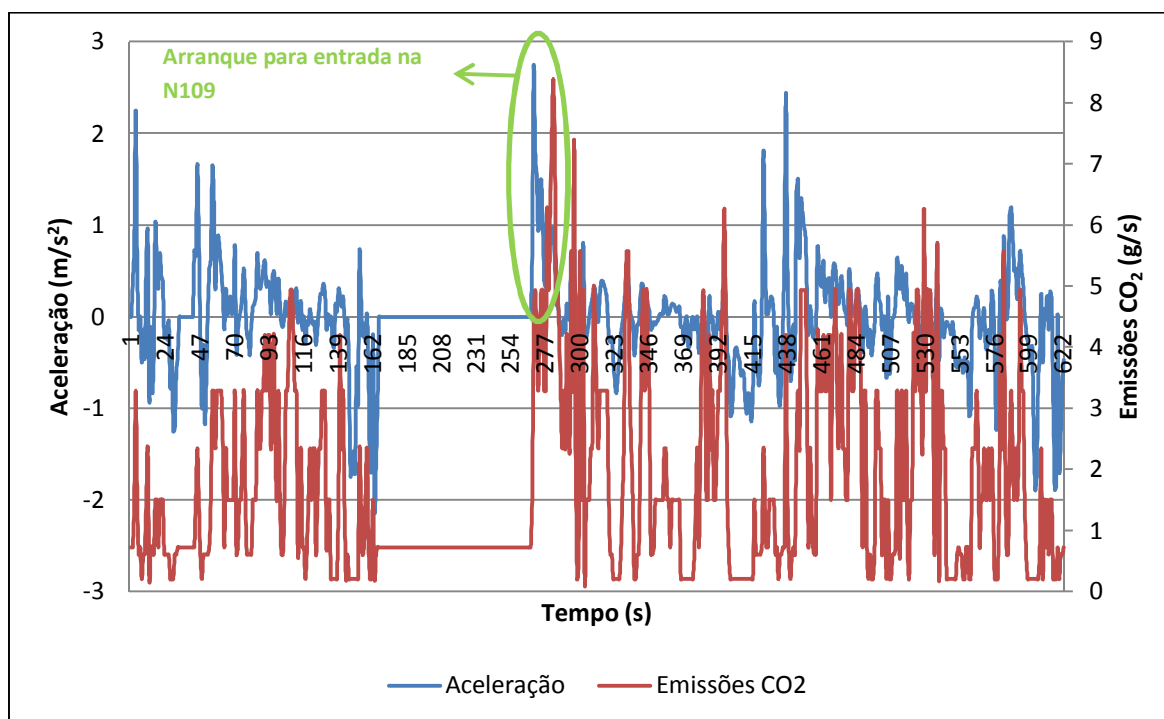


Figura 42 - Perfil de aceleração e emissões CO₂ do CUA T2 (UA-Taboeira).

O percurso CUA T3 é um percurso caracterizado pelas ruas citadinas com um maior número de peões, sinalização luminosa, cruzamentos, rotundas, lombas, etc. A nível de velocidade é um trajeto extremamente irregular pois é impossível manter uma velocidade constante devido ao elevado número de incidentes que ocorrem durante o percurso.

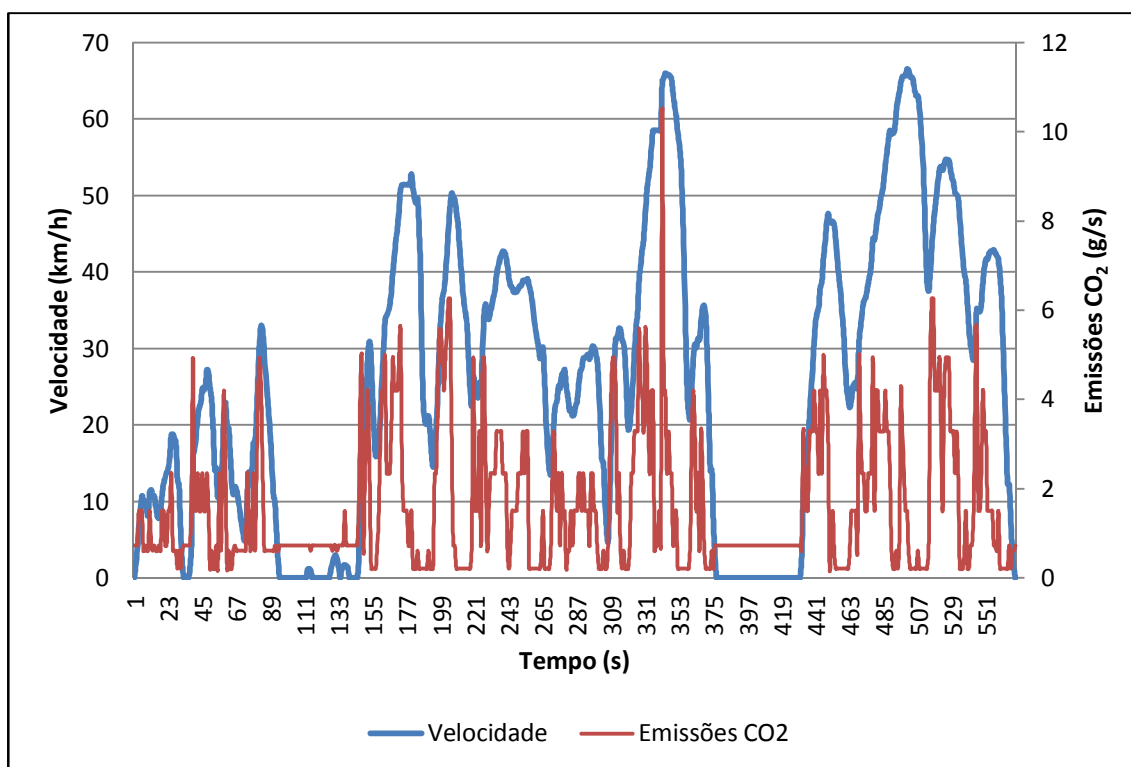


Figura 43 - Perfil de velocidade e emissões CO₂ do CUA T3 (UA-Taboeira).

Ao analisar a **Figura 43** e sublinhando o que foi exposto no parágrafo anterior, a velocidade é bastante variável, e identificam-se dois pontos críticos onde a velocidade é nula. Essas situações correspondem à paragem devido à sinalização luminosa no cruzamento da avenida 5 de Outubro (junto do tribunal de Aveiro), entre os segundos 90 e 150, e na sinalização luminosa no cruzamento de Esgueira, entre os segundos 379 e 420 (**Figura 44 e Figura 45**).



Figura 44 - Sinalização luminosa no cruzamento da avenida 5 de Outubro (junto ao tribunal de Aveiro).



Figura 45 - Sinalização luminosa junto do cruzamento de Esgueira.

Relativamente a nível de emissões CO_2 , verifica-se um pico em primeira análise que corresponde também a um nível de velocidade máxima causando um aumento nas emissões de CO_2 . No início do percurso verifica-se ainda um pico de emissões que resultaram da entrada na rotunda assim como no arranque após a passagem e peões na passadeira. Como se pode verificar pela **Figura 46**, um pico de aceleração leva a um aumento de emissões.

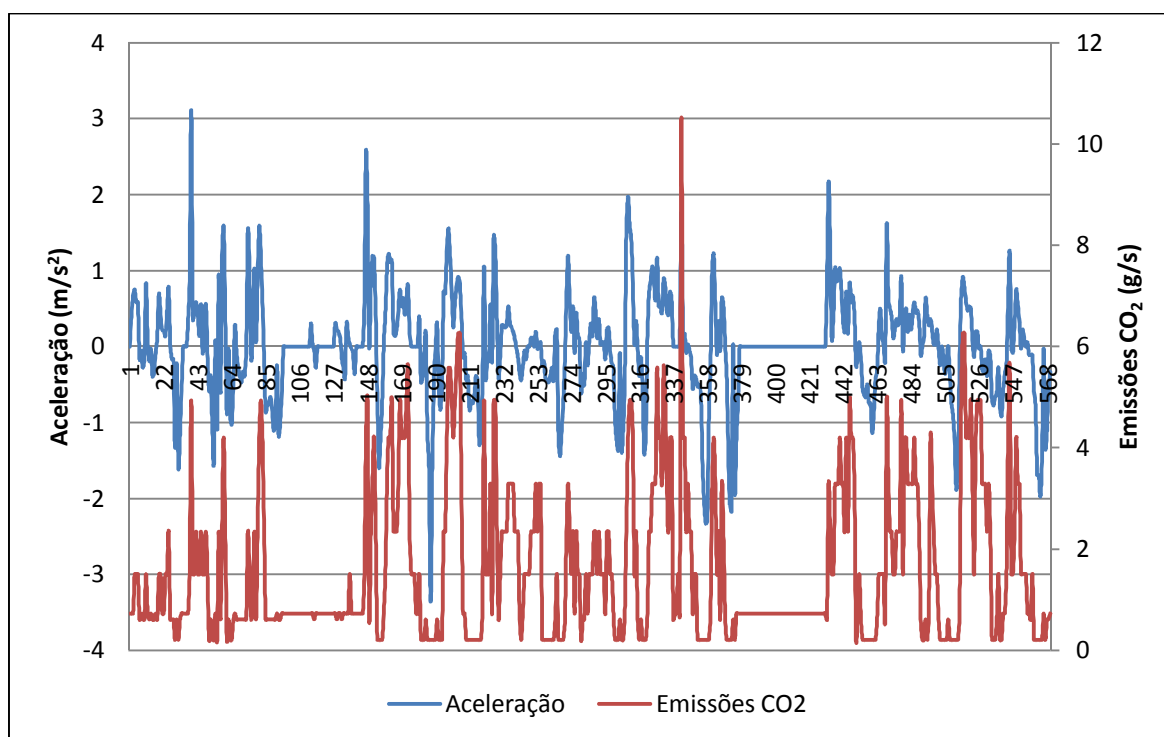


Figura 46 - Perfil de Aceleração e emissões CO_2 do CUA T3 (UA-Taboeira).

Fazendo uma análise geral sobre todos os trajetos do Circuito urbano de Aveiro (**Figuras 47 a 50**) verifica-se um equilíbrio entre os percursos CUA T1 e CUA T2 uma vez que para as emissões de CO_2 , por exemplo, o percurso CUA T1 é o mais poluente para veículos a diesel mas em relação aos veículos a gasolina o percurso CUA T2 é o mais poluente. Todos os gráficos

comparativos de emissões totais apresentam barras de erro incluídos num intervalo de confiança de 95% na distribuição de T-student.

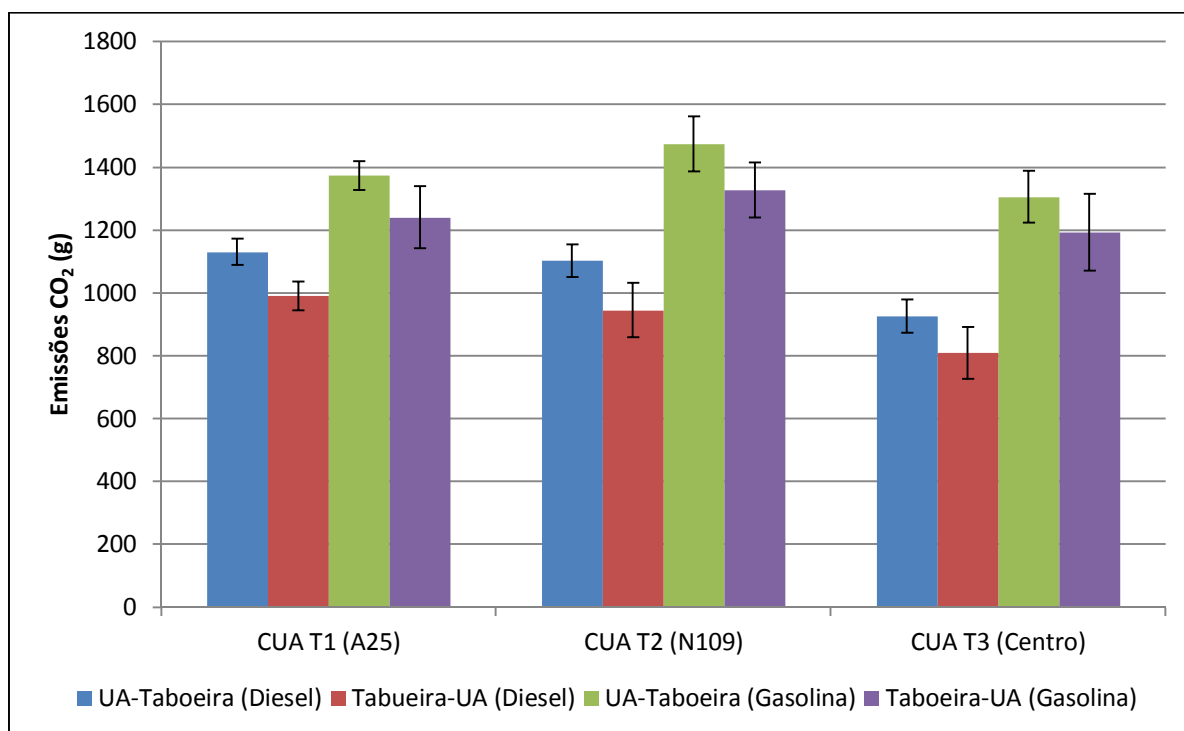


Figura 47 - Emissões médias totais de CO₂ para o Circuito Urbano de Aveiro em hora de ponta.

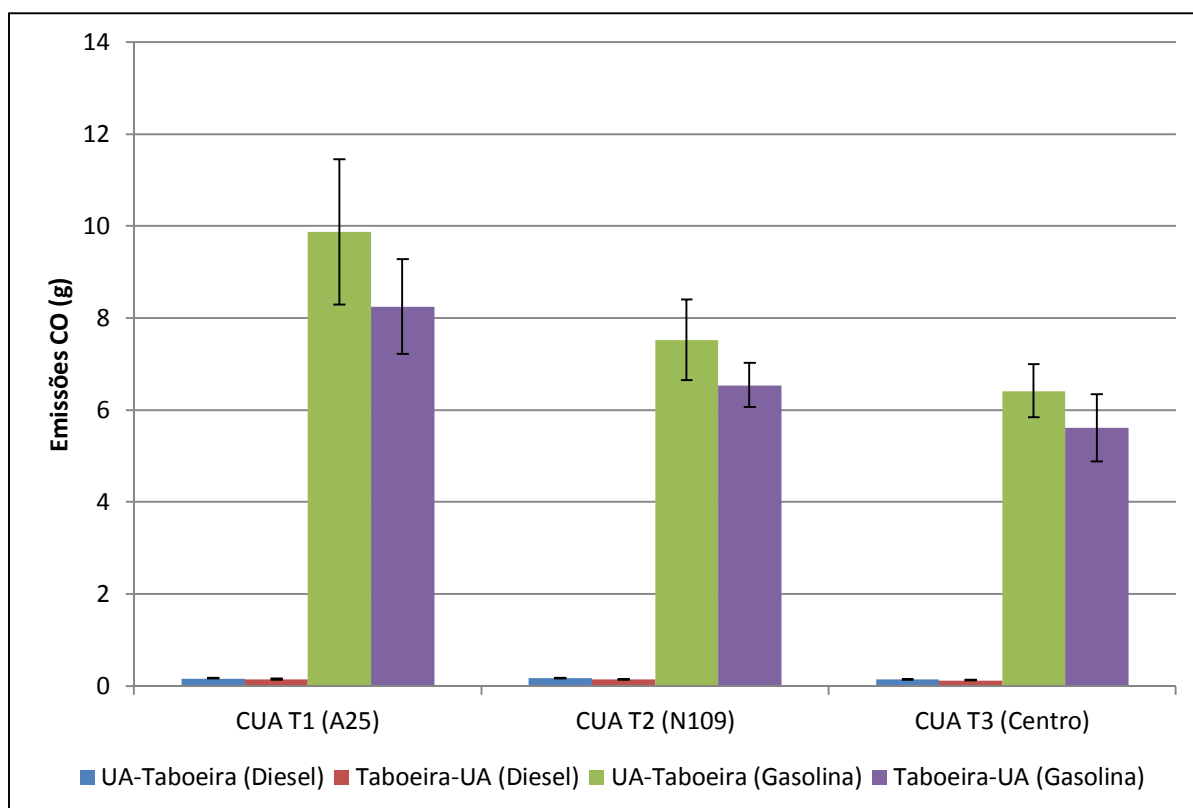


Figura 48 - Emissões médias totais de CO para o Circuito Urbano de Aveiro em hora de ponta.

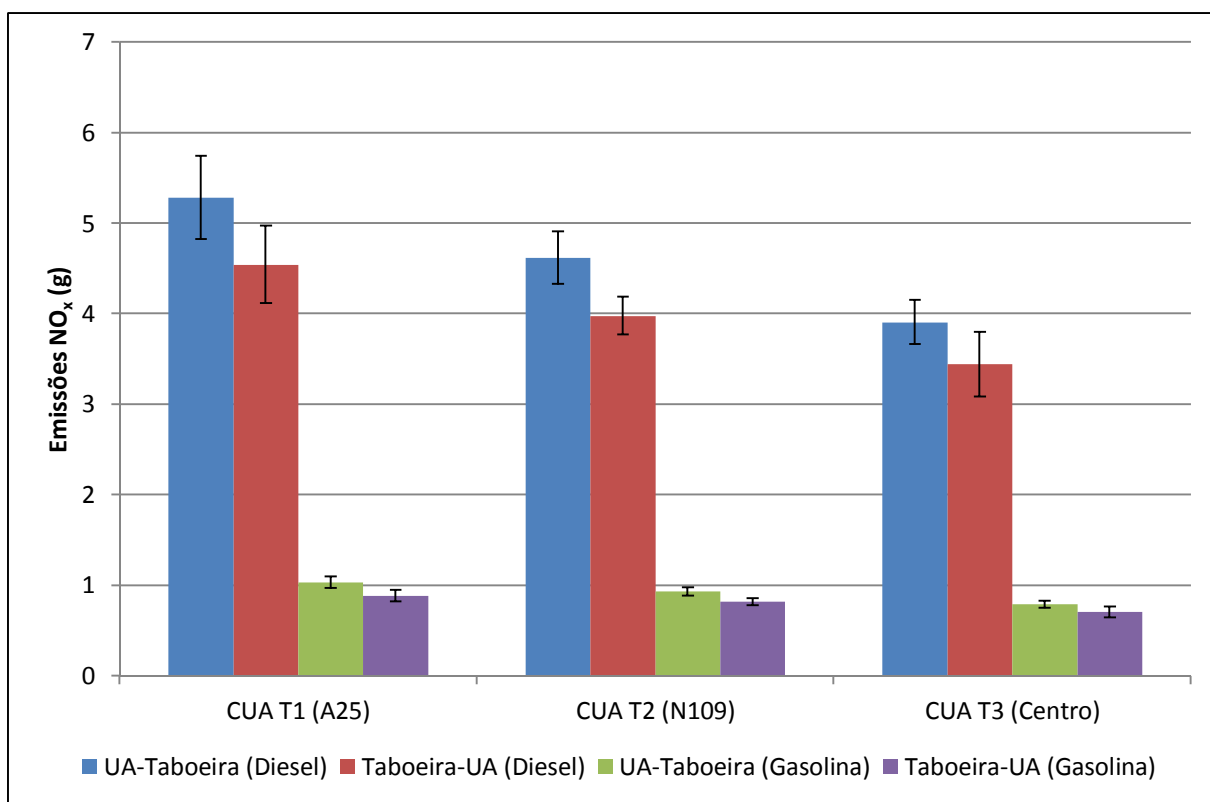


Figura 49 - Emissões médias totais de NO_x para o Circuito Urbano de Aveiro em hora de ponta.

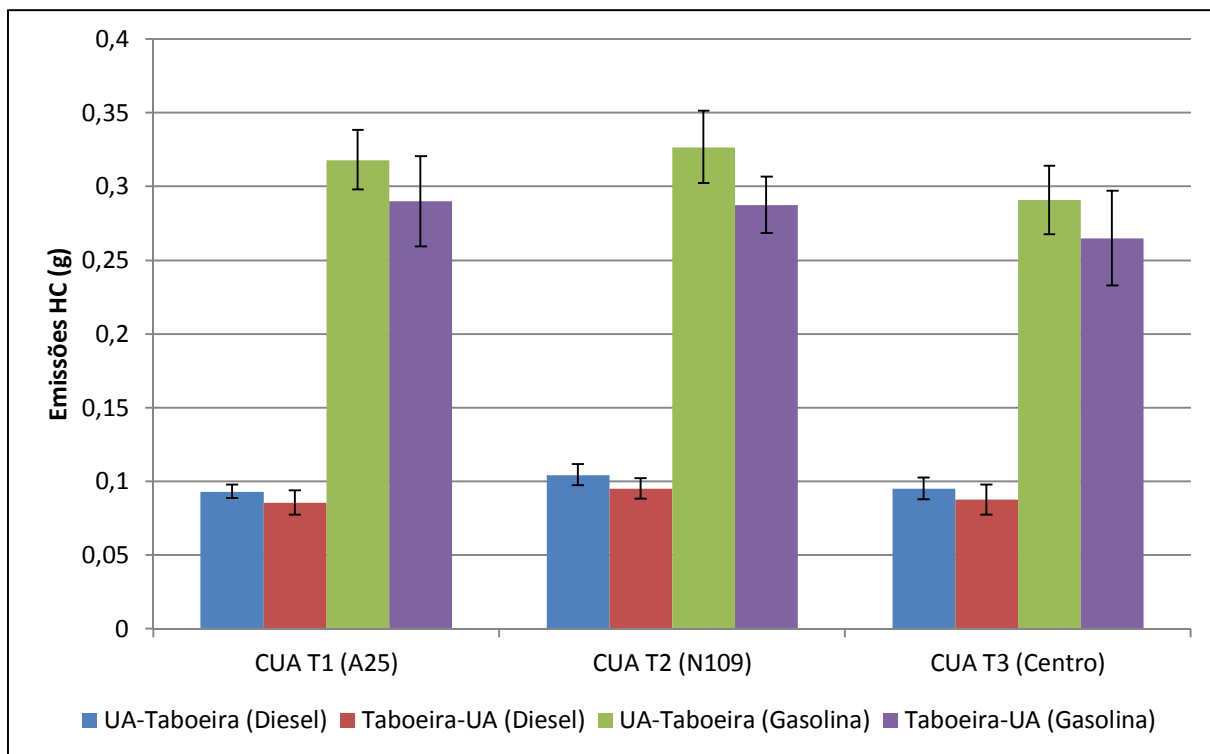


Figura 50 - Emissões médias totais de HC para o Circuito Urbano de Aveiro em hora de ponta.

Em relação às emissões de CO e de NO_x, o primeiro trajeto (CUA T1) revela-se como sendo o mais poluente situando o CUA T2 na segunda posição. As emissões de hidrocarbonetos (HC) mostram que o percurso efetuado em estrada nacional (CUA T2) é o mais poluente (**Figura 50**). Para uma melhor perceção de emissões e comparação entre poluentes no quadro abaixo é exposta uma comparação percentual (Tabela 8).

Tabela 8 - Comparação percentual emissões totais dos circuitos CUA em hora de ponta (base: CUA T1=0).

	Diesel				Gasolina			
	CO ₂	CO	NO _x	HC	CO ₂	CO	NO _x	HC
CUA T1/CUA T2(%)	3	0	13	-12	-7	22	9	-1
CUA T1/CUA T3(%)	18	15	25	-2	4	34	22	9

As singularidades que mais se destacam face a CUA T1 são então:

- ✓ O percurso CUA T3, de modo geral, é o menos poluente;
- ✓ As emissões de CO para veículos a gasolina são cerca de 22 e 34% superiores para o CUA T1 em relação a CUA T2 e CUA T3, respetivamente;
- ✓ As emissões de CO₂ são superiores para CUA T2 em 7% face a CUA T1;

Ao analisar as emissões por quilómetro de cada percurso (**Figuras 51 a 54 e Tabela 9**), o panorama geral afigura-se distinto.

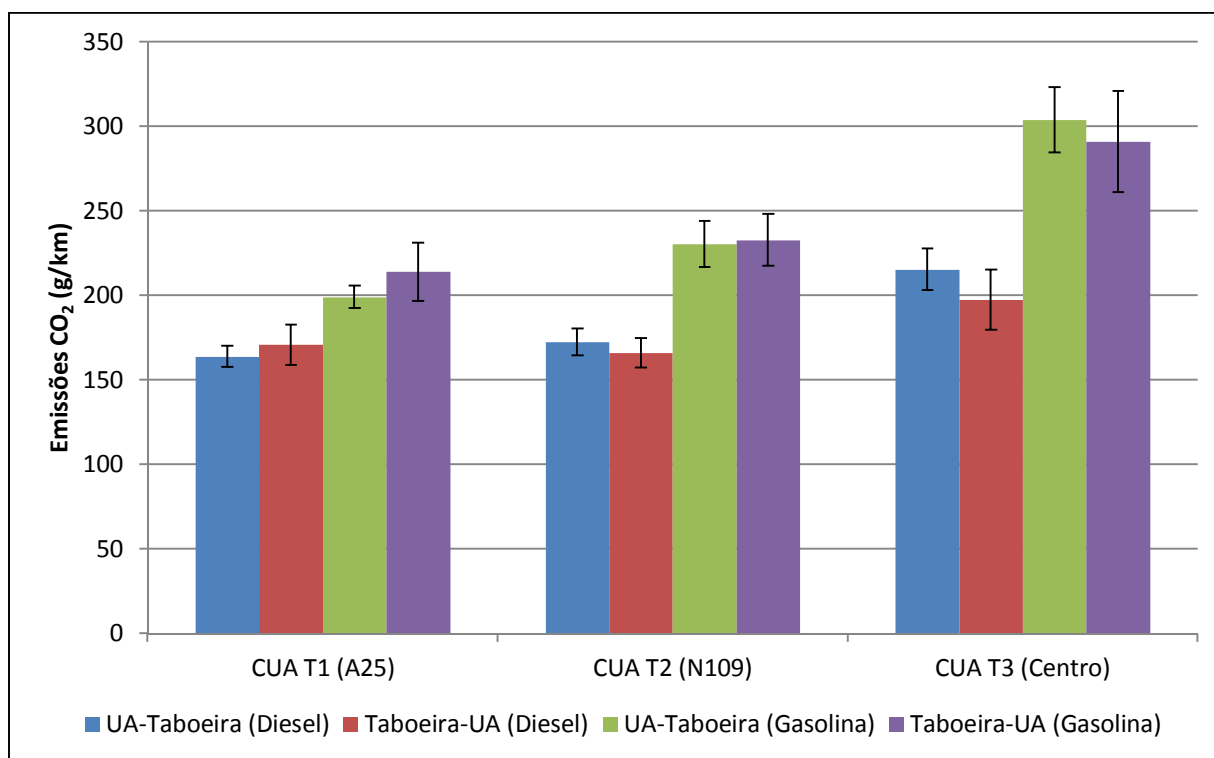


Figura 51 - Emissões médias de CO₂ por quilómetro no circuito urbano de Aveiro em hora de ponta.

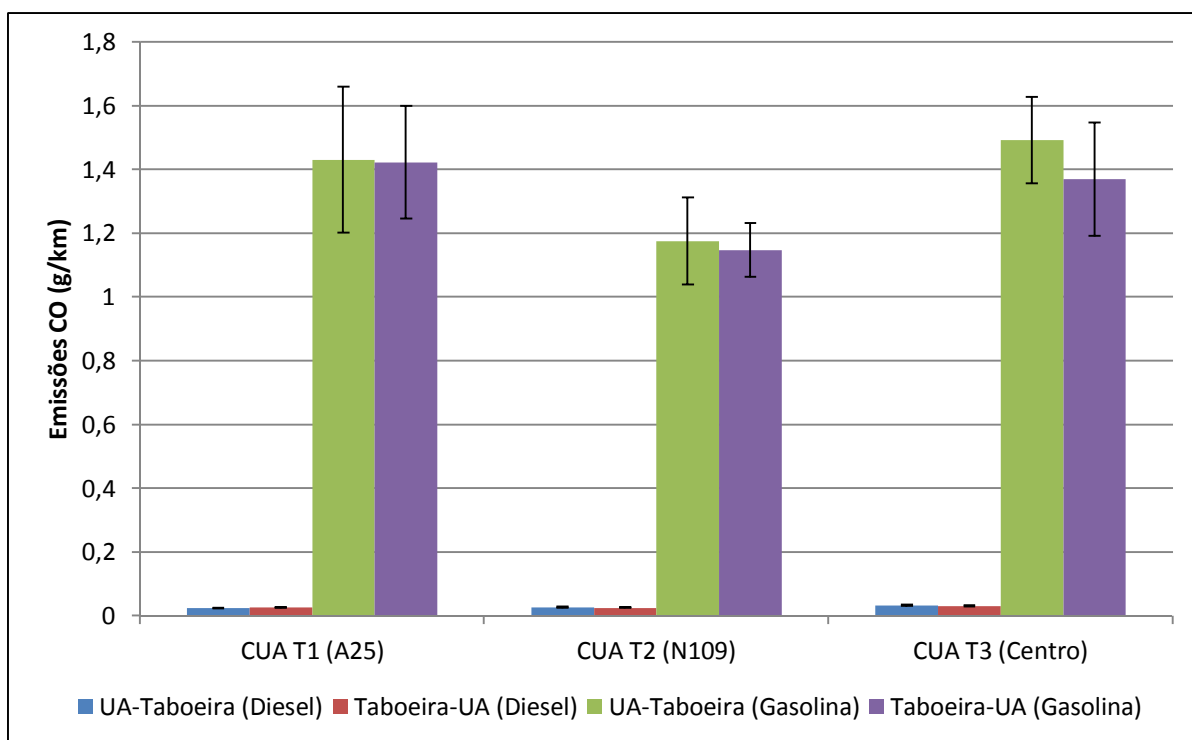


Figura 52 - Emissões médias de CO por quilómetro no circuito urbano de Aveiro em hora de ponta.

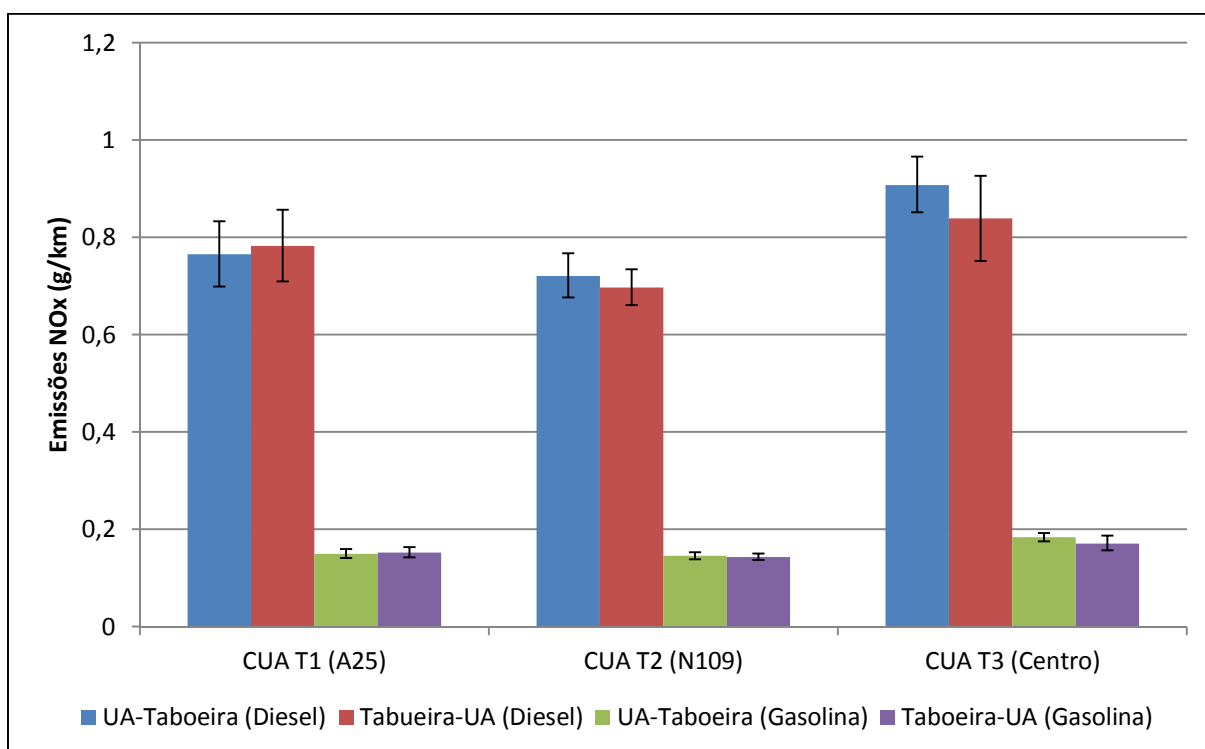


Figura 53 - Emissões médias de NO_x por quilómetro no Circuito urbano de Aveiro em hora de ponta.

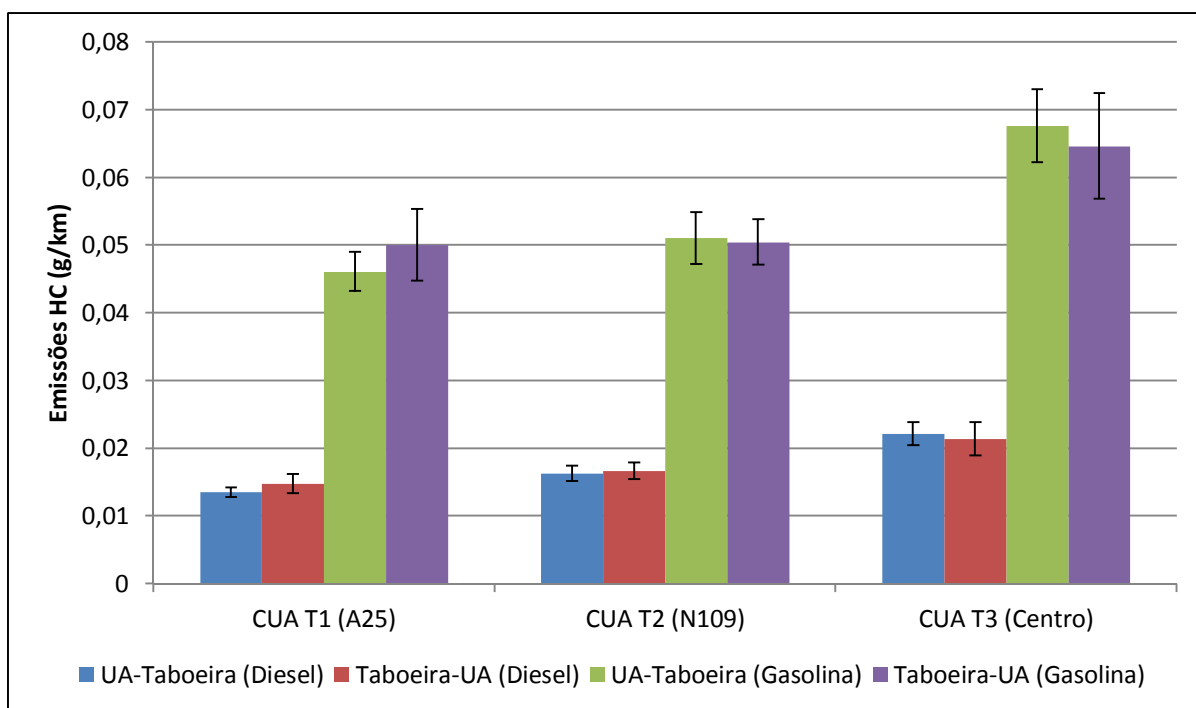


Figura 54 - Emissões médias de HC por quilómetro no Circuito urbano de Aveiro em hora de ponta.

Tabela 9 - Comparação percentual emissões por quilómetro dos circuitos CUA em hora de ponta (base: CUA T3=0).

	Diesel				Gasolina			
	CO ₂	CO	NOx	HC	CO ₂	CO	NOx	HC
CUA T3/CUA T1(%)	19	22	11	35	31	0	15	27
CUA T3/CUA T2(%)	18	19	19	24	22	19	19	23

Verifica que o percurso CUA T3 é o mais desvantajoso em termos de emissões por quilómetro. Este facto é facilmente justificado com o tempo de viagem ser superior, pois são mais ocorrentes situações de congestionamento, mas em relação a emissões totais é o percurso que menos polui.

Todos os testes realizados no Circuito urbano de Aveiro foram efetuados nas duas horas de ponta diárias com maior impacto, respetivamente a hora de ponta da manhã, das 8h às 9h e a hora de ponta da tarde, das 18h às 19h.

Numa primeira análise geral do tempo percorrido por todos os percursos verifica-se que o percurso CUA T2 é o mais lento (**Tabela 10**), sendo muito equilibrado com o percurso CUA T3. Os percursos efetuados pelo centro da cidade e pela estrada nacional tendem a ser muito próximos uma vez que têm uma caracterização bastante destacada do percurso CUA T1.

Tabela 10 - Durações médias (em minutos) dos Circuitos Urbanos de Aveiro em hora de ponta.

CUA T1	UA-Taboeira	8,1	Média	8,1
	Taboeira-UA	8,0		
CUA T2	UA-Taboeira	10,4	Média	10,0
	Taboeira-UA	9,6		
CUA T3	UA-Taboeira	9,8	Média	9,6
	Taboeira-UA	9,3		

Pela Tabela acima verifica-se que o trajeto CUA T2 demora mais 1,9 minutos (cerca de 24% face a CUA T1) que o CUA T1.

Com o objetivo de verificar diferenças entre horas de ponta verificou-se os tempos de percurso em relação à hora de ponta da manhã e da tarde (**Figura 55**).

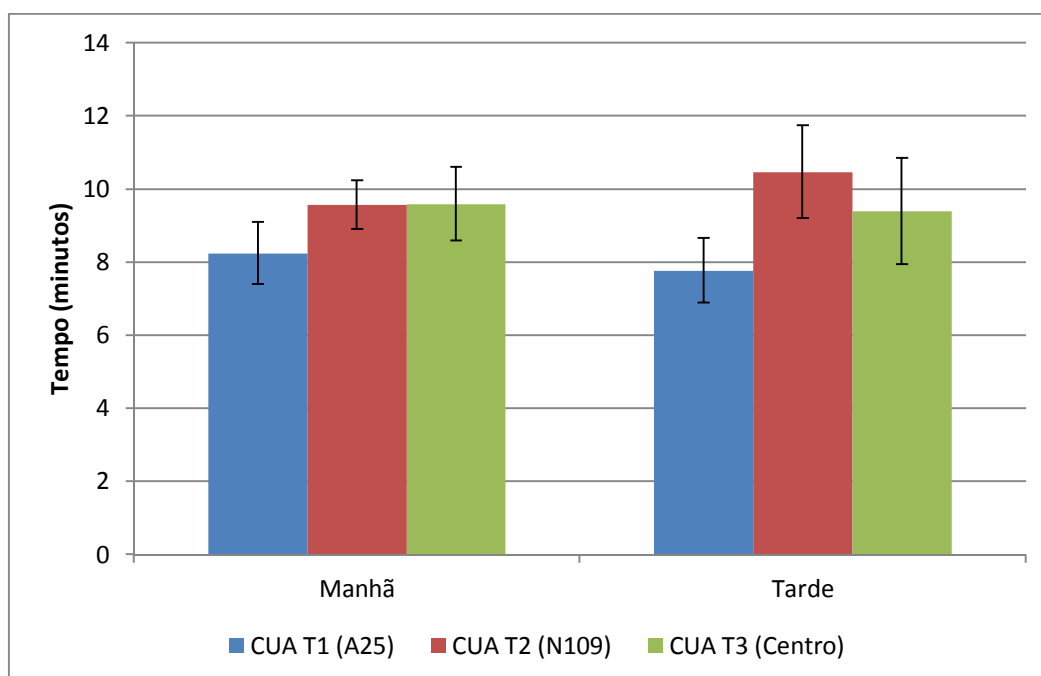


Figura 55 - Evolução dos tempos de percurso no CUA nas horas de ponta da manhã e da tarde.

Rapidamente se verifica que o único percurso que evolui de forma negativa entre a hora de ponta da manhã e da tarde é o CUA T2 sofrendo um aumento de 54 segundos (cerca de 9%) não sendo muito significativo uma vez que os intervalos de confiança se sobrepõem.

4.2.2 Influência do comportamento do condutor e veículo no CUA

Como referido no capítulo 3.2, na parte experimental recorreu-se à monitorização de rotas com veículos e condutores alternativos, tendo assim as possibilidades: “Condutor A +Veículo A” e “Condutor B +Veículo B”. Durante os testes efetuados, e para a obtenção de um erro

menor na comparação de resultados, ambos os veículos com respetivos condutores saíram do mesmo local exatamente à mesma hora no início de cada teste.

Para melhor perceção do resultado de mudança de condutor/viatura decidiu-se comparar a velocidade média, as emissões de CO₂, CO e HC para veículos a gasolina e as emissões de NO_x para veículos diesel, uma vez que são as emissões mais sensíveis. Na **Tabela 11** verifica-se então a comparação percentual do “Condutor B +Veículo B” face ao “Condutor A +Veículo A”.

Tabela 11 - Comparação percentual da mudança de condutor e veículo para CUA.

	Vel. média	CO ₂ (Gasolina)	CO (Gasolina)	NO _x (Diesel)	HC (Gasolina)
CUA T1	-3	1	26	10	11
CUA T2	11	-6	5	-2	-6
CUA T3	9	-7	2	-5	-6

Ao verificar a **Tabela 11** é perceptível que a mudança de condutor e viatura resulta numa variação, em alguns casos com mais impacte, de emissões de poluentes. Ao alterar a velocidade média para um patamar superior, automaticamente se reduz a duração da viagem, é assim de salientar no percurso CUA T2 houve um aumento da velocidade média em cerca de 11% com a mudança de condutor e veículo. Como consequência obtiveram-se reduções também nas emissões entre 2 a 6% excetuando as emissões de CO que aumentaram cerca de 5%. Ao analisar o CUA T1 verifica-se uma diminuição na velocidade média e um aumento de 11 a 26% nas emissões CO, NO_x e HC. Estas alterações são facilmente explicadas com a caracterização do CUA T1 que uma vez que é constituído maioritariamente pela A25 o regime de tráfego é livre fazendo com que cada condutor exerça o seu estilo de condução tendo variações superiores nos poluentes mais sensíveis.

Para compreender melhor estas variações na mudança de condutor e veículo analisou-se a distribuição de modos VSP para cada situação como ilustra a **Figura 56**.

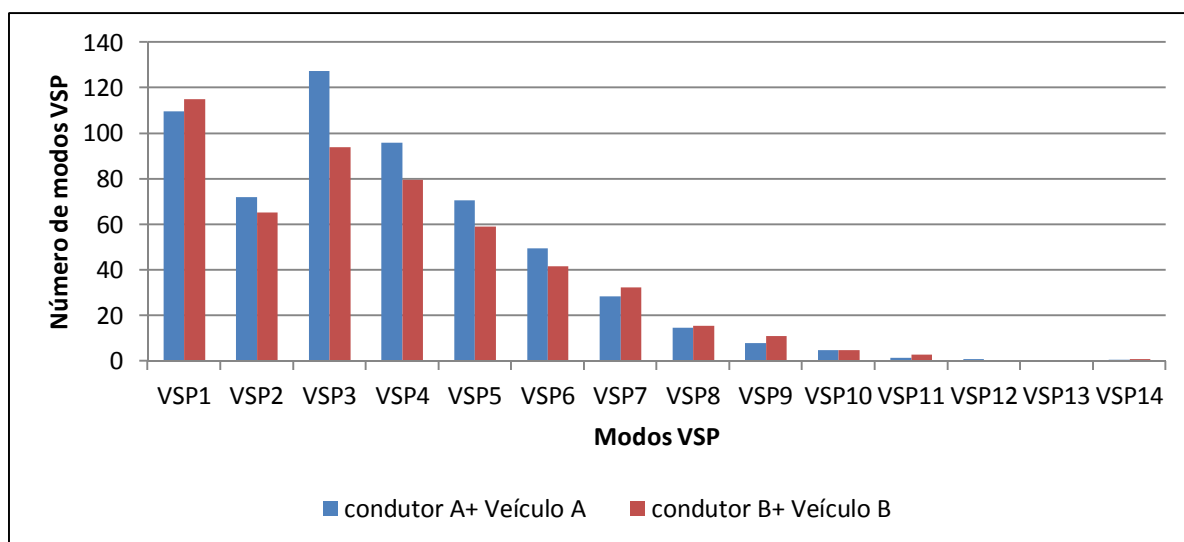


Figura 56 – Distribuição média de modos VSP para CUA T3 para em função do condutor e veículo

O gráfico acima demonstra que na situação A o número de modos 2, 3, 4, 5, 6 e 12 são superiores aos da situação B, que por sua vez possui uma quantidade superior nos modos 1, 7, 8, 9, 10, 11 e 14. Esta diferença de distribuições de modos VSP explica uma diminuição nas emissões uma vez que a situação A contém um número inferior de modos mais elevados. Por outras palavras pode-se afirmar que na situação B o regime de acelerações tende a ser mais elevado uma vez que a velocidade média na situação A é menor. Como os fatores de emissão dos gases poluentes aumenta com o modo seguinte, justifica assim o aumento de emissões para a situação B.

4.2.3 Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta

Uma vez que o Circuito Aveiro-Porto, CAP T1, é percorrido essencialmente na A1 é de esperar que a hora de ponta não tenha muita influência no perfil de velocidades e emissões uma vez que a maior parte do percurso tem 3 vias em cada sentido, apresentando assim uma capacidade superior para acomodar mais tráfego.

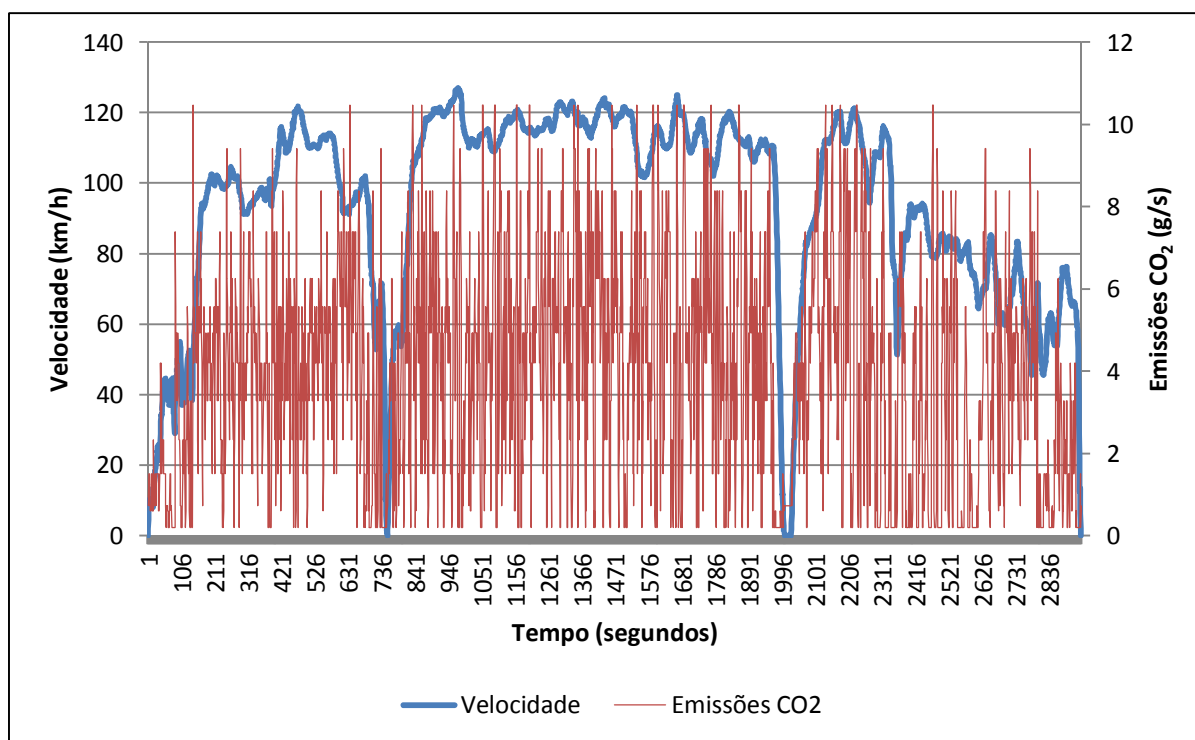


Figura 57 - Perfil de velocidade e emissões de CO₂ do CAP T1 em hora de ponta.

Pelo perfil de velocidades da figura anterior é visível que se trata de um percurso em autoestrada devido às velocidades rondarem os 100-120 km/h. O gráfico apresenta apenas dois pontos mais salientes que correspondem às portagens da A1 (entrada e saída).

Quanto ao nível de emissões, não traçam um perfil constante devido à velocidade variável. São relativamente elevadas devido à velocidade por se tratar de uma autoestrada. Ainda é possível verificar alguns pontos mais variáveis, correspondentes à brusca variação de velocidade também nas proximidades de portagem. De notar que a aceleração à saída das portagens corresponde também num aumento significativo de emissões.

Por sua vez, o CAP T2, que é também constituído na sua maioria por autoestrada (A25, A29, A44, A1) e apresenta um perfil com velocidades elevadas típicas deste tipo de infraestruturas.

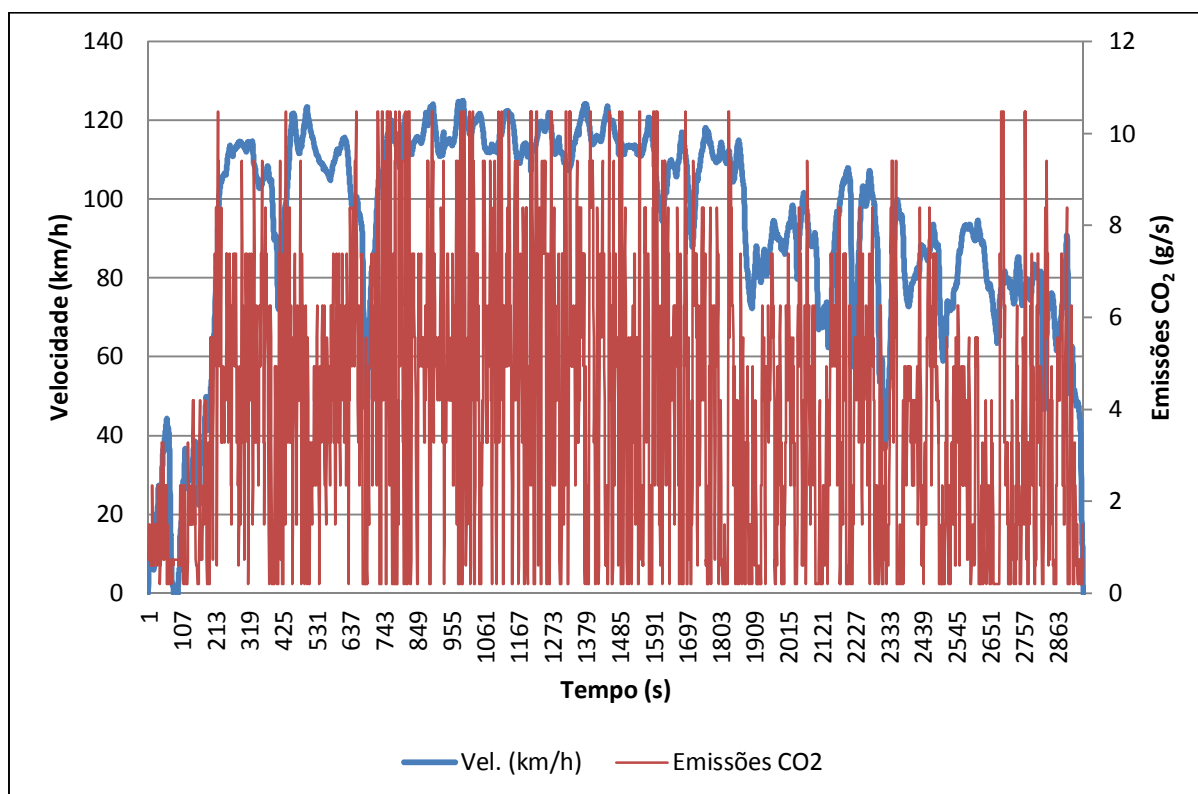


Figura 58 - Perfil de velocidade e emissões de CO₂ do CAP T2 (UA-AMIAL) em hora de ponta.

Pela Figura anterior, verifica-se que numa primeira fase a velocidade sofre algumas variações e pouco ultrapassa os 40 km/h, consequência do tráfego urbano e dos obstáculos que se deparam na via (sinalização luminosa, passadeiras, etc.). Identificam-se ainda as transições entre autoestradas e na parte final do gráfico observa-se também alguma variação em termos de velocidade. Esta variação resulta do trânsito presente na VCI assim como o limite de velocidade em algumas zonas de 100 km/h. As emissões de CO₂, mais uma vez, apresentam-se mais elevadas quando a velocidade é igualmente mais elevada sofrendo também grandes variações no final do percurso devido às acelerações/desacelerações e declive da via.

Até Outubro de 2010 a A29 não continha portagens sendo denominada por SCUT (Sem Custo para o Utilizador). Um dos critérios para implementação de portagens consiste num índice de referência igual a 1,3 que indica que as vias alternativas à SCUT não constituem uma oferta razoável (Almeida, 2010). Assim, Almeida (2010) verificou o cumprimento do índice de referência mencionado das alternativas face à A29 exposto na **Tabela 12**.

Tabela 12 - Comparação relativa de duração do trajeto CAP T2 face às alternativas. (Almeida, 2010)

Duração CAP T2 vs. Alternativas	
CAP T2 vs. CAP T1	0,97
CAP T2 vs. CAP T2	1,63
CAP T2 vs. CAP T3	1,98

Foi verificado que:

- ✓ Em relação às vias alternativas realizadas em estradas nacionais (CAP T3 e CAP T4) não é cumprido o critério de duração especificado para aplicação de portagem;
- ✓ Comparando com CAP T1 (A1) verifica-se o cumprimento do critério, ficando por esclarecer se este tipo de via se insere na classificação “rede rodoviária local e regional”;
- ✓ A análise efetuada é indicativa pois os trajetos estudados não englobam toda a extensão quer da A29, quer dos restantes trajetos;

Analisando o relatório de tráfego na rede nacional de autoestradas, do 4º trimestre de 2010 do Instituto nacional de infraestruturas rodoviárias verifica-se uma acentuada diminuição do volume diário de tráfego (VDT) na A29 no mês de Novembro de 2010 em comparação com Novembro de 2009. Pelas tabelas abaixo é possível verificar essas diferenças.

Tabela 13 - Dados dos meses de Outubro de 2009 e 2010 da Autoestrada A29. (INIR,2010)

A29				
Troço	Novembro 2009	Novembro de 2010	Diferença Percentual	Diferença de veículos
Angeja-Salreu	33968	13522	-60	-20446
Salreu-Estarreja	34103	14962	-56	-19141
Estarreja - Ovar	34128	11282	-67	-22846
Ovar - Arada	35571	15767	-56	-19804
Miramar - A44	72089	22399	-69	-49690

Tabela 14 - Dados dos meses de Outubro de 2009 e 2010 da Autoestrada A1. (INIR,2010)

A1				
Troço	Novembro 2009	Novembro 2010	Diferença percentual	Diferença de veículos
Albergaria- Estarreja	21314	33563	58	12249
Estarreja - Feira	17722	30956	43	13234
Feira - IC24	24794	39375	59	14581
IC24 - Grijó	28465	42933	51	14468

Analisando as tabelas acima, facilmente se verifica que a autoestrada A29 sofreu um decréscimo mensal de tráfego até 69%, consequência da aplicação de portagens. Em contrapartida os registos de tráfego mensal aumentaram na autoestrada A1 uma possível consequência da A29 começar a ser taxada. É claro para uma grande parte dos condutores que para além da desvantagem das taxas da A29 serem ligeiramente superiores, alguns troços possuem um maior número de curvas, para além de em algumas zonas a velocidade limite ser igual a 100 km/h. Por sua vez a A1 não tem tantas curvas e ainda possui 3 vias de circulação para cada sentido em grande parte do percurso, apresentando assim relação

volume/capacidade inferior. Apesar da A1 ter aumentado o seu volume de tráfego mensal com a aplicação de portagens na A29, uma percentagem significativa de tráfego que circulava na A29 optou por viajar em estradas nacionais assim como outros condutores terão optado por outros modos de viagem.

No que diz respeito ao CAP T3, é de esperar um perfil de velocidades bastante variado uma vez que o percurso é efetuado em estrada nacional e existe um elevado número de obstáculos para além das condições de tráfego.

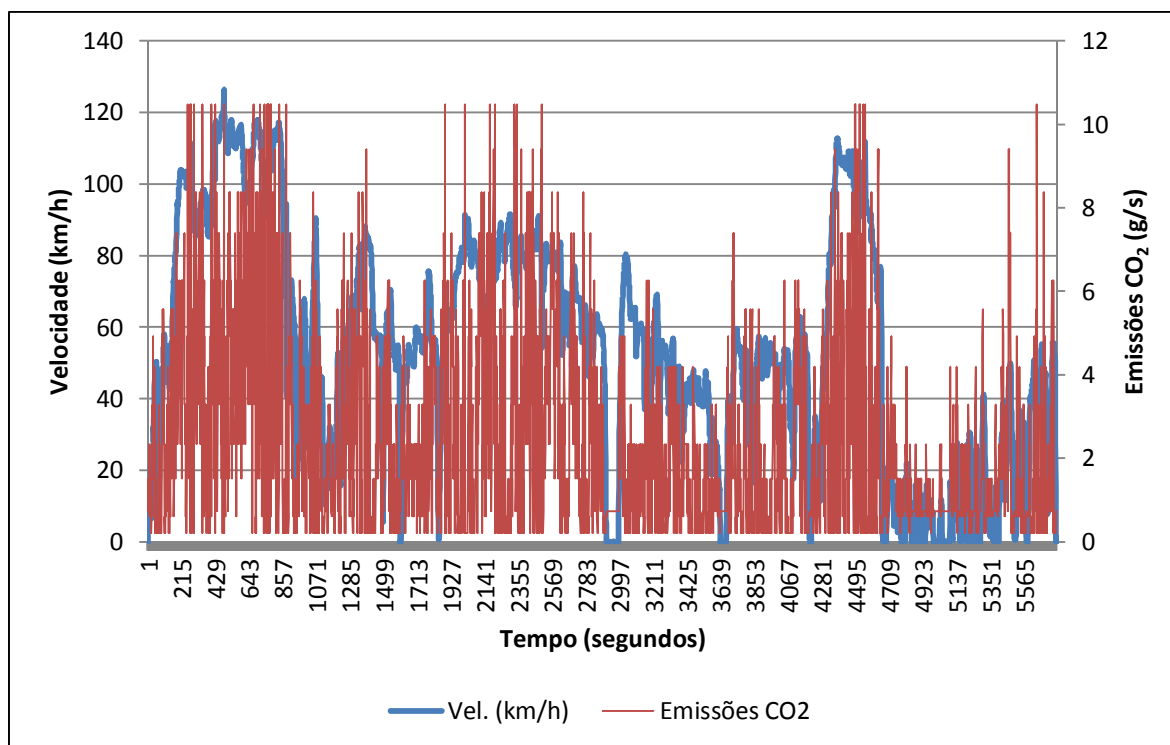


Figura 59 - Perfil de velocidade e emissões de CO₂ do CAP T3 em hora de ponta.

Ao analisar a **Figura 59**, verifica-se que a velocidade se situa em torno dos 100/120 km/h, em duas zonas, que correspondem à circulação em autoestrada, respetivamente à A25 e A1. Verificam-se ainda descontinuidades na velocidade que correspondem ao tráfego pedonal, sinalização luminosa, cruzamentos, etc. É de frisar ainda que no final da viagem as velocidades na VCI se encontram algo reduzidas, pois é resultado da presença de fila resultando em pára-arranca (**Figura 60**). No que diz respeito às emissões de CO₂, pouco há a acrescentar ao que foi referido em relação a outros percursos para além de ser necessário realçar a diminuição das emissões instantâneas na VCI devido à presença de fila, que por sua vez reduz a velocidade, verificando-se ainda assim alguns picos devido às acelerações no arranque.



Figura 60 - Para-arranca na VCI junto à subida do estádio do dragão no percurso CAP T3 (UA-Amial).

Já o ultimo percurso do Circuito Aveiro-Porto, CAP T4, tem algumas semelhanças com o percurso anterior, exceptuando os troços efetuados em autoestrada, pois o percurso é efetuado em estrada nacional (N109). O perfil de velocidades e emissões de CO₂ encontra-se na **Figura 61**.

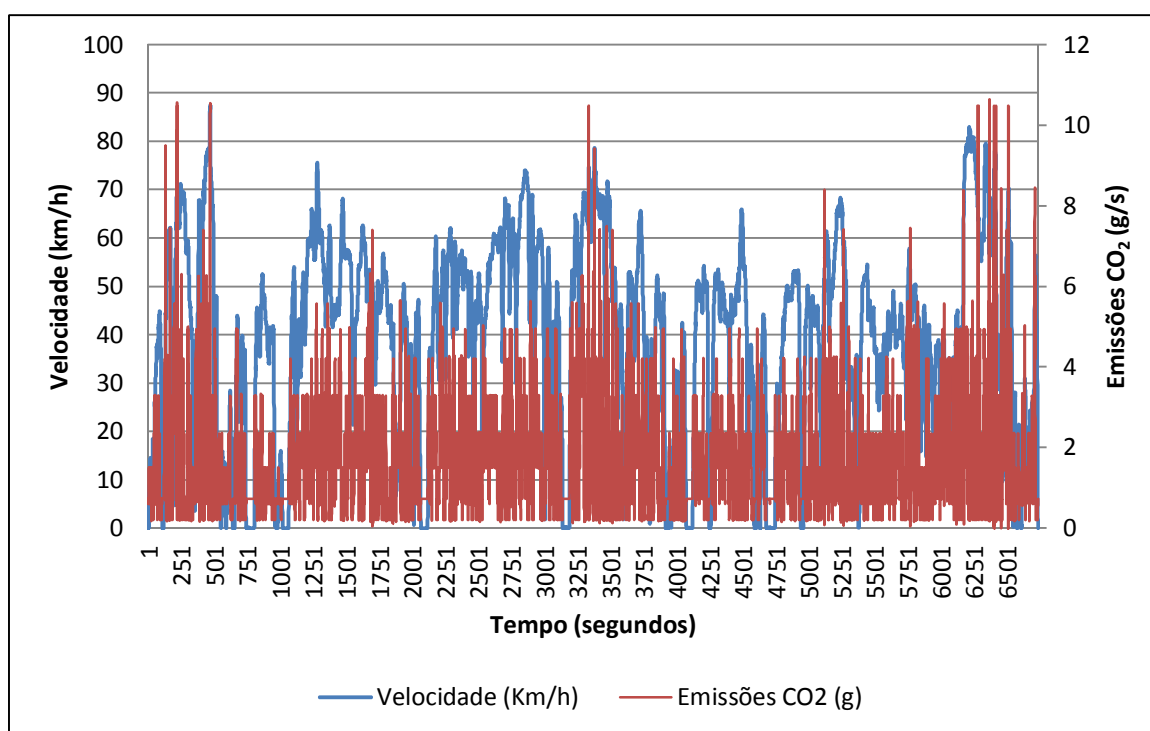


Figura 61 - Perfil de velocidade e emissões de CO₂ do CAP T4 (UA-Amial) em hora de ponta.

A **Figura 61** reflete o perfil típico de velocidade e emissões do CAP T4, apesar de ser uma representação apenas de um teste efetuado, pois é um trajeto com muitas variações de velocidade, e com muitas paragens. A velocidade máxima pouco ultrapassa os 80 km/h sendo essa velocidade limite atingida na A1 que devido às condições de tráfego limita a velocidade como mostra a figura abaixo.



Figura 62 - Congestionamento no acesso à A1 na zona de Gaia no CAP T4.

Ao analisar e comparar as emissões entre percursos, verifica-se que o CAP T3 é o que se destaca em relação às emissões de CO₂, não deixando assim de existir um equilíbrio entre todas as rotas (**Figuras 63 à 66**).

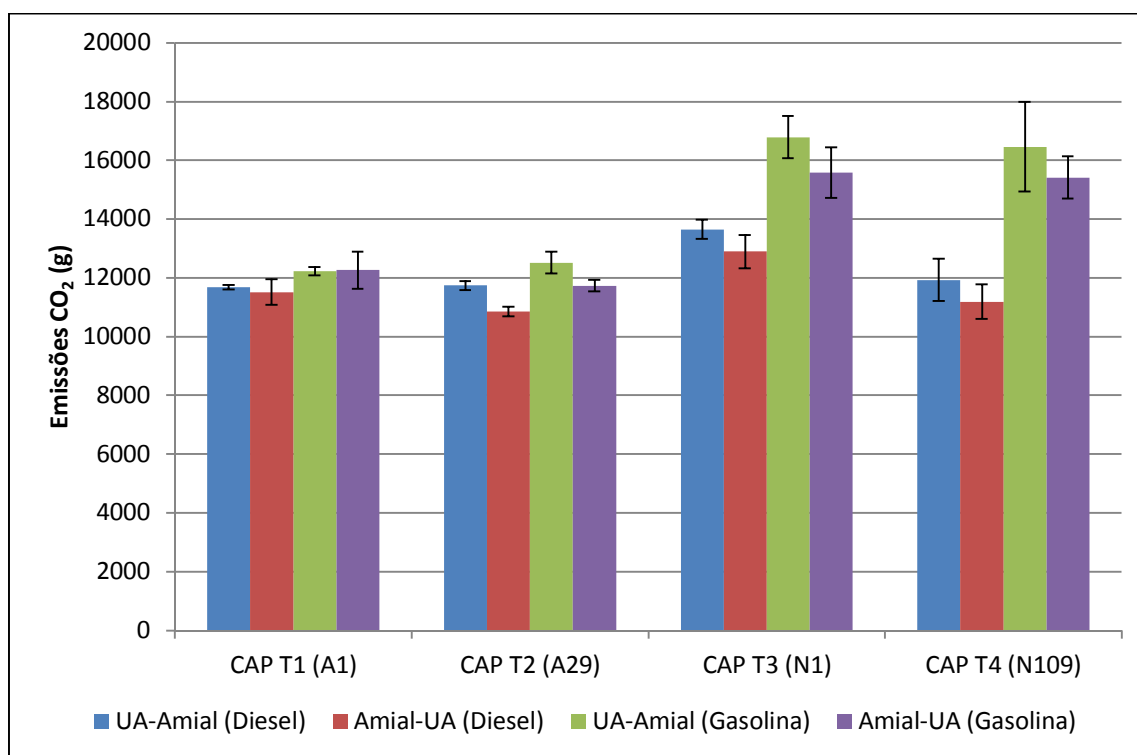


Figura 63 - Emissões médias totais de CO₂ para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.

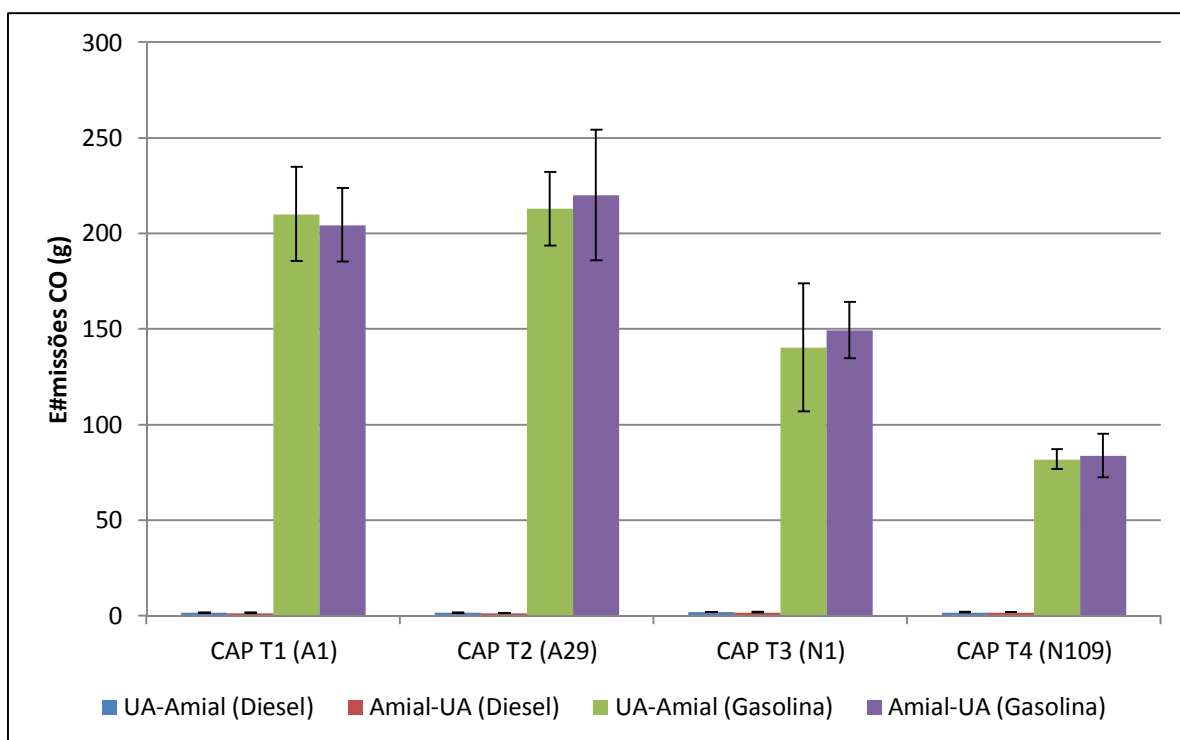


Figura 64 - Emissões médias totais de CO para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.

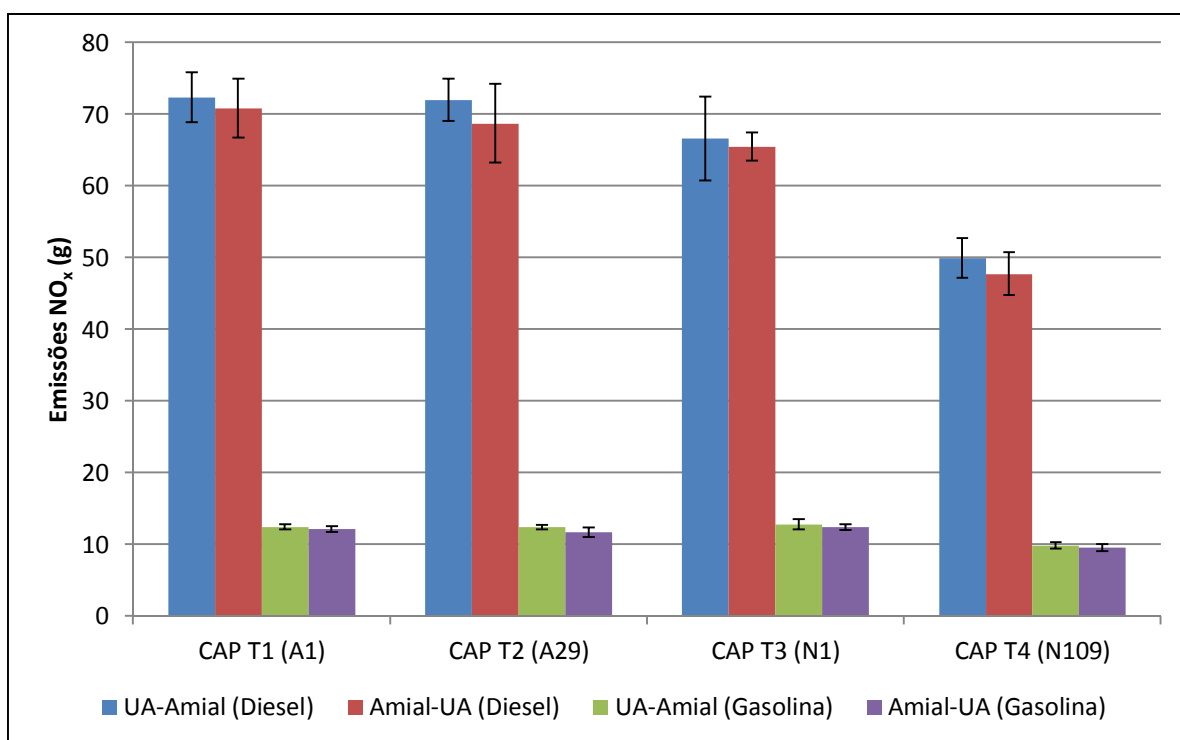


Figura 65 - Emissões médias totais de NO_x para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.

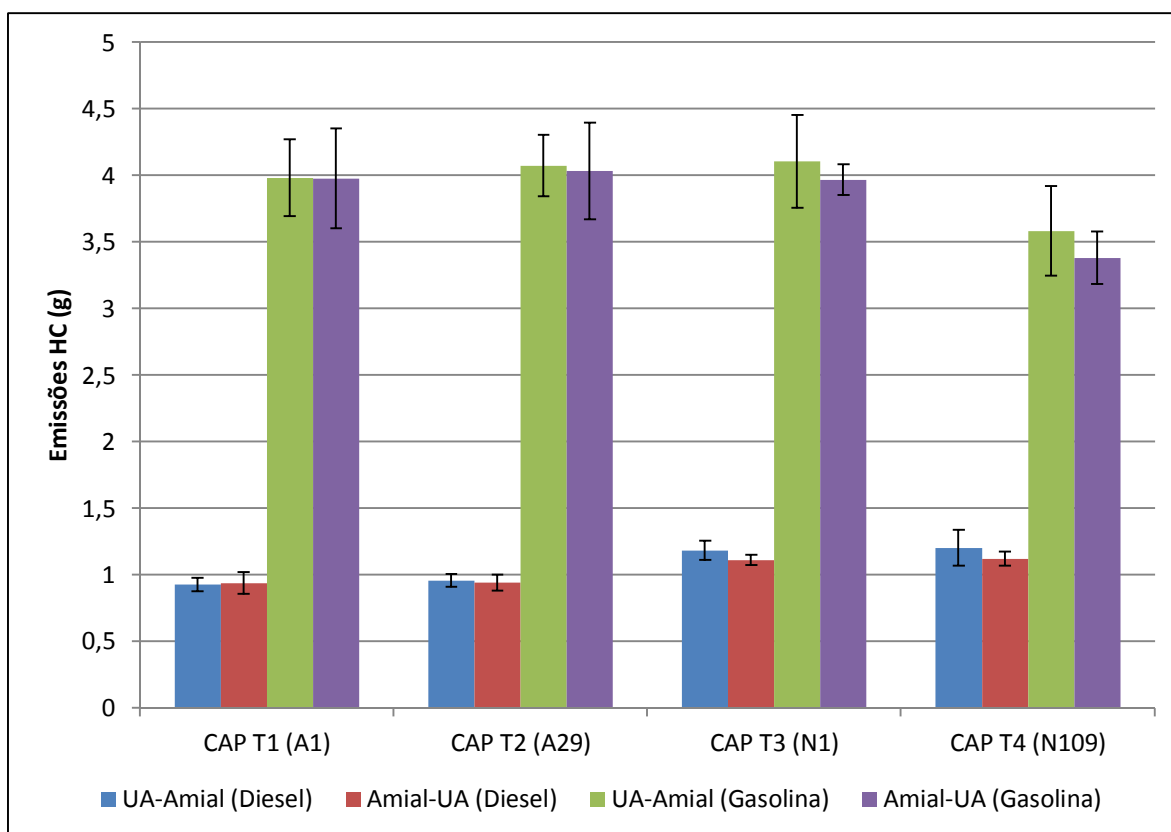


Figura 66 - Emissões médias totais de HC para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.

A análise às figuras anteriores demonstra as seguintes particularidades:

- ✓ Relativamente às emissões de CO₂, o CAP T3 é o mais poluente, possivelmente devido à distância, pois é o percurso mais longo;
- ✓ O CAP T2 é o menos poluente, ao nível de emissões de CO₂ para veículos a diesel;
- ✓ As emissões de CO apresentam valores mais elevados para os percursos em autoestrada, resultado de velocidades elevadas. Para as emissões de CO e NO_x, o CAP T4 é o que apresenta menores emissões;
- ✓ As emissões de hidrocarbonetos (HC) são semelhantes para o CAP T1, CAP T2 e CAP T3 para veículos a gasolina, sendo que nestes o CAP T4 é o menos poluente ao contrário das emissões para veículos a diesel.

Tabela 15 - Comparação percentual de emissões totais dos percursos do CAP em hora de ponta (base: CAP T3=0)

	Diesel				Gasolina			
	CO ₂	CO	NO _x	HC	CO ₂	CO	NO _x	HC
CAP T3/CAP T1(%)	13	19	-8	19	24	-43	2	1
CAP T3/CAP T2(%)	15	21	-7	17	25	-50	4	0
CAP T3/CAP T4(%)	13	7	26	-1	2	43	23	14

Analisando o quadro comparativo acima descrito destaca-se o seguinte:

- ✓ As emissões de CO₂ são superiores no CAP T3 entre 13 e 25 % face aos percursos alternativos;
- ✓ Em relação às emissões de CO, o CAP T3, para veículos a diesel, é o mais poluente em cerca de 13 e 15%. Para veículos a gasolina o cenário muda drasticamente sendo o CAP T2 o mais poluente;
- ✓ CAP T3 resulta num aumento de emissões de hidrocarbonetos (HC) em relação aos percursos alternativos, nomeadamente CAP T1 e CAP T2 para veículos diesel;
- ✓ As emissões de NO_x são superiores no CAP T1 para veículos a diesel, sendo que para veículos a gasolina o mais poluente é o CAP T3 havendo um equilíbrio entre os três primeiros percursos.

Considerando a análise em termos de emissões por quilómetro, as emissões de CO₂ para veículos a Diesel mantêm-se muito equilibradas ao contrário das emissões para veículos a gasolina que se são superiores no trajeto CAP T4.

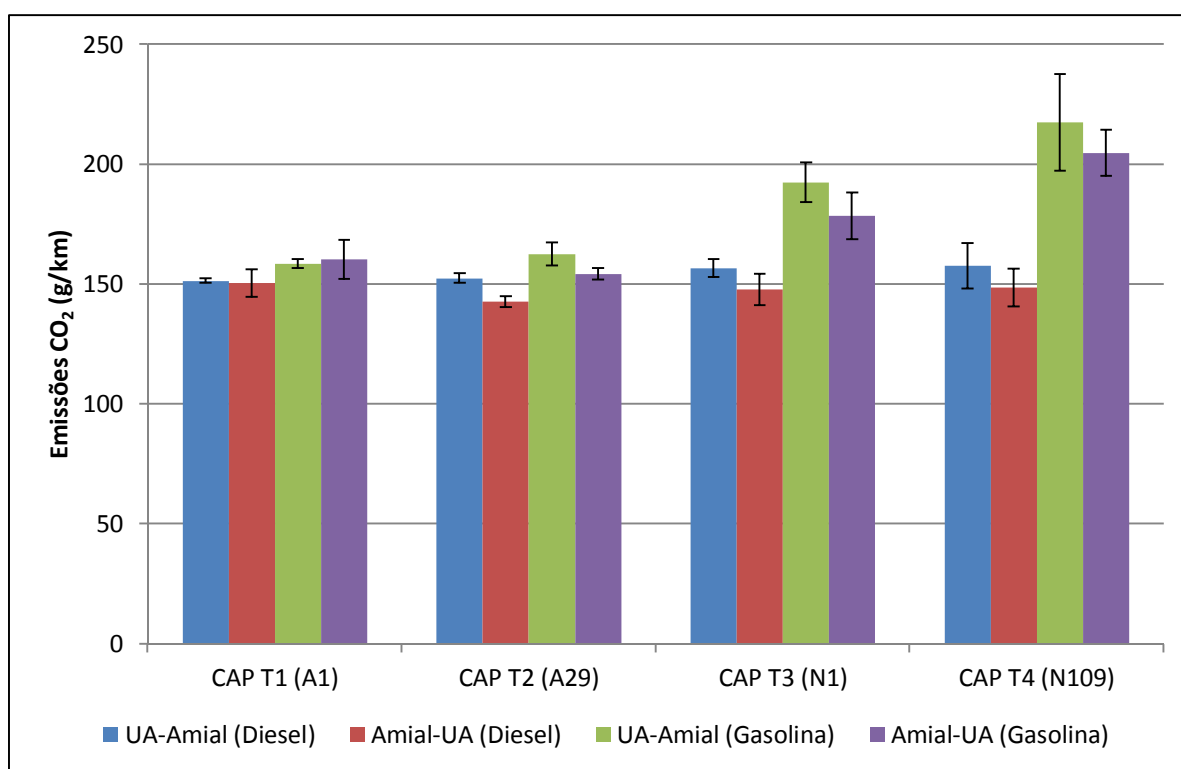


Figura 67 - Emissões médias de CO₂ por quilómetro para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.

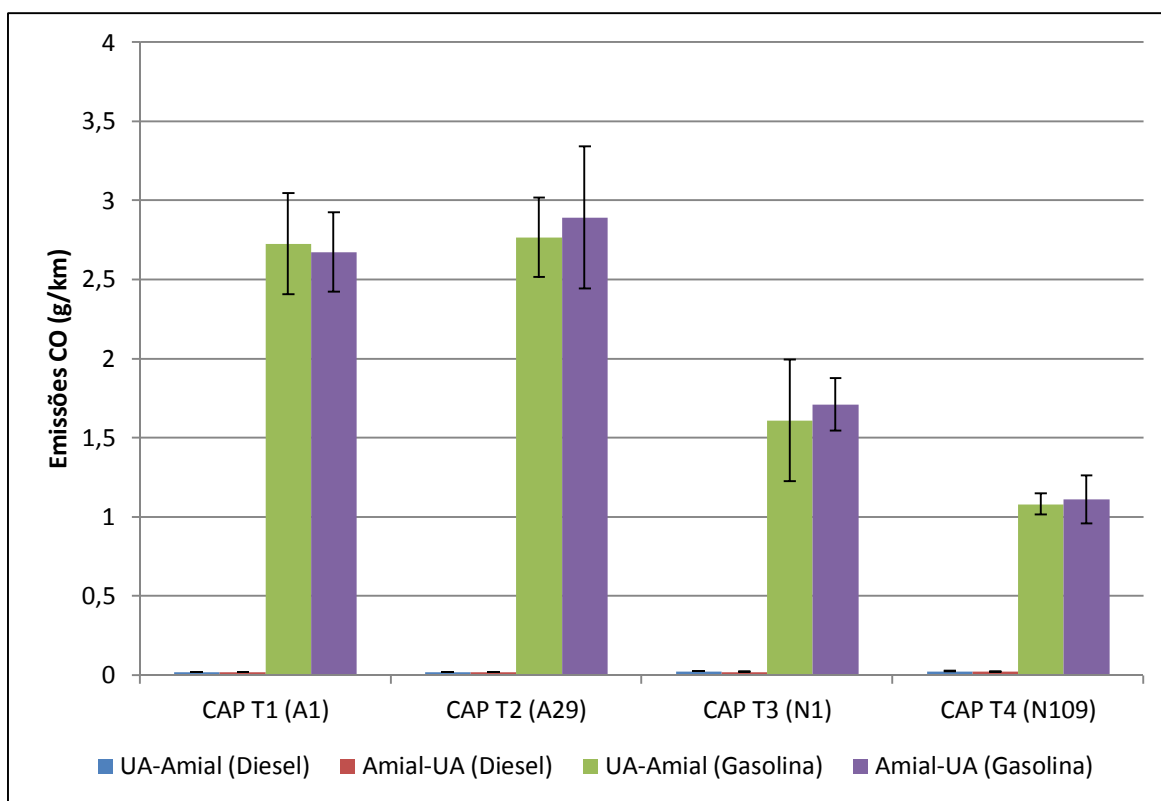


Figura 68 -Emissões médias de CO por quilómetro para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.

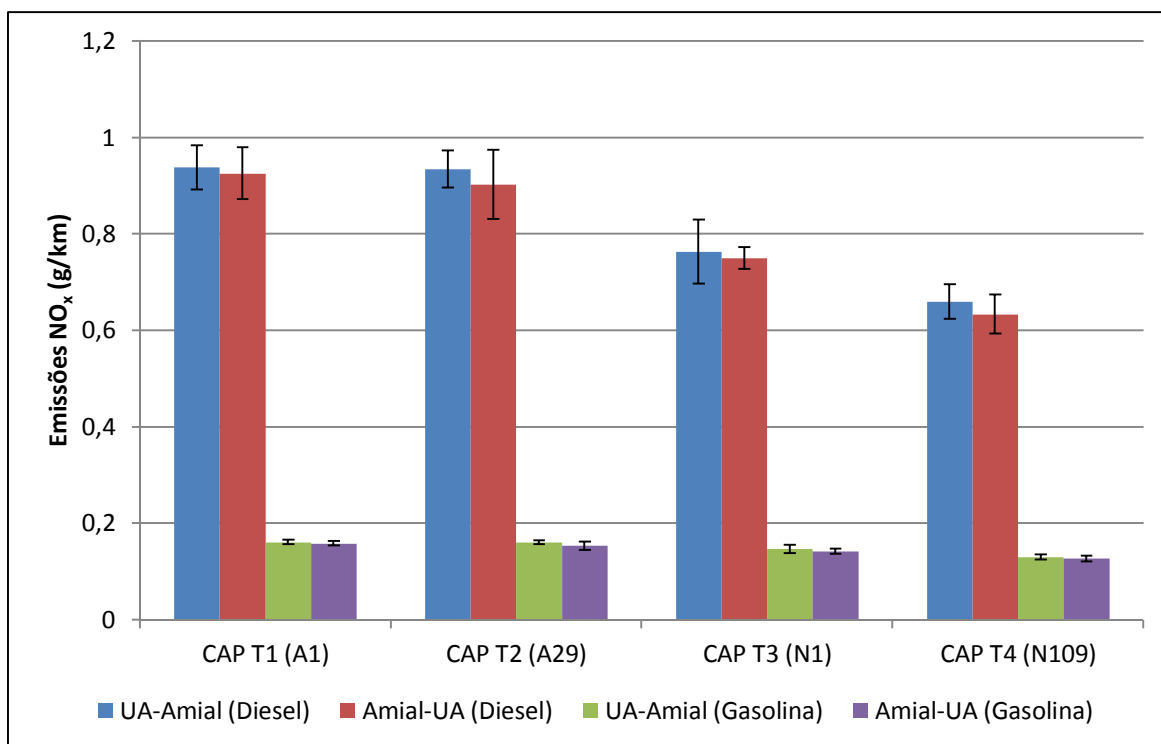


Figura 69 - Emissões médias de NO_x por quilómetro para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.

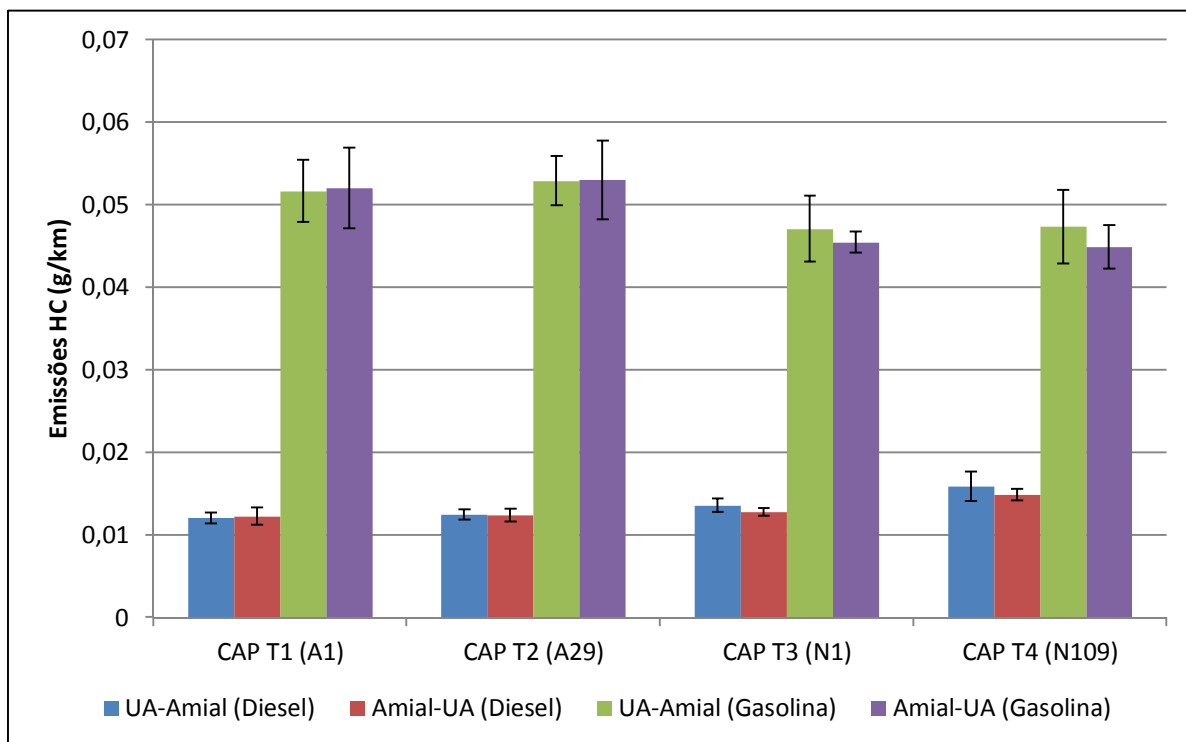


Figura 70 - Emissões médias de HC por quilómetro para o Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.

Da mesma forma que se tem analisado os dados, tomou-se o CAP T4 como referência uma vez que é o que possui um nível mais elevado de emissões CO₂ para veículos a gasolina.

Tabela 16 - Comparação percentual de emissões por quilómetro dos percursos do CAP em hora de ponta (base: CAP T4=0)

	Diesel				Gasolina			
	CO ₂	CO	NO _x	HC	CO ₂	CO	NO _x	HC
CAP T4/CAP T1(%)	1	14	-44	21	24	-146	-24	-12
CAP T4/CAP T2(%)	4	17	-42	19	25	-158	-22	-15
CAP T4/CAP T3(%)	0	7	-17	15	12	-52	-12	0

Analisando a tabela anterior verifica-se que os hidrocarbonetos (HC) são o poluente mais penalizador para o CAP T4 tendo emissões superiores até 21% (face a CAP T1) para veículos a Diesel. As emissões de CO para veículos a diesel pouco variam o que não se verifica para veículos a Gasolina pois são mais elevadas para o CAP T2 em cerca de 158%.

A **Tabela 17** e a **Figura 71** expõem o panorama geral de duração de cada percurso do Circuito Aveiro-Porto.

Tabela 17 - Durações médias (em minutos) do circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.

CAP T1	UA-Amial	50,5	MÉDIA	52,6
	Amial-UA	54,6		
CAP T2	UA-Amial	53,9	MÉDIA	52,5

	Amial-UA	51,1		
CAP T3	UA-Amial	99,6	MÉDIA	93,8
	Amial-UA	88,0		
CAP T4	UA-Amial	119,0	MÉDIA	113,5
	Amial-UA	108,0		

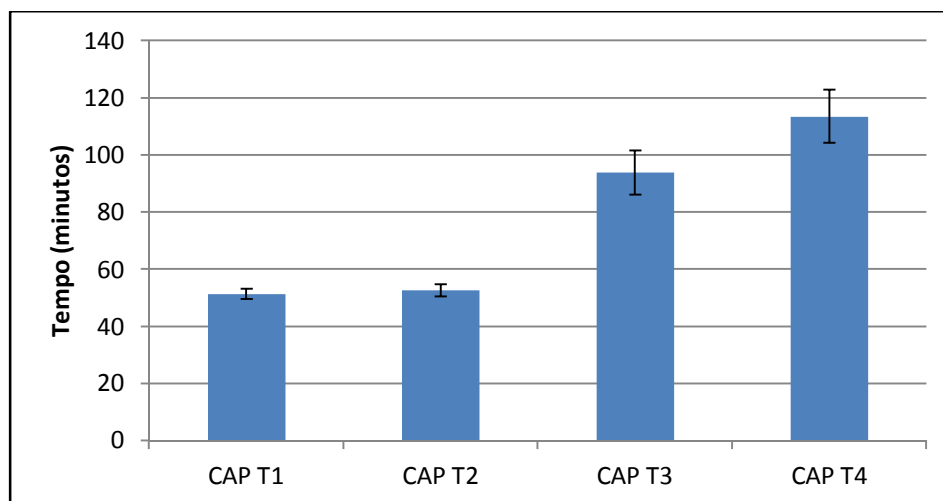


Figura 71 - Duração dos percursos do Circuito Aveiro-Porto em hora de ponta.

É possível verificar que em hora de ponta o percurso mais desvantajoso em termos de duração é o CAP T4 (cerca de 2 horas), uma vez que é efetuado em estrada nacional e com apenas uma via de circulação em cada sentido. Além disso, a presença de vários obstáculos faz com que CAP T4 demore mais 54% do tempo do percurso face a CAP T1. Por sua vez os percursos CAP T1 e CAP T2 estão equilibrados uma vez que se trata de percursos efetuados em autoestrada e sensivelmente com a mesma distância.

Relativamente à diferença entre a hora de ponta da manhã e da tarde, verificou-se um aumento da duração do percurso para as estradas nacionais (CAP T3 e CAP T4) na hora de ponta da tarde, e uma diminuição nos dois primeiros percursos (CAP T1 e CAP T2). Tal facto é justificado pela hora de chegada à cidade do Porto, pois a hora de ponta da tarde é quando um grande número de pessoas volta para casa do trabalho intensificando o fluxo de tráfego em estradas nacionais no período da tarde.

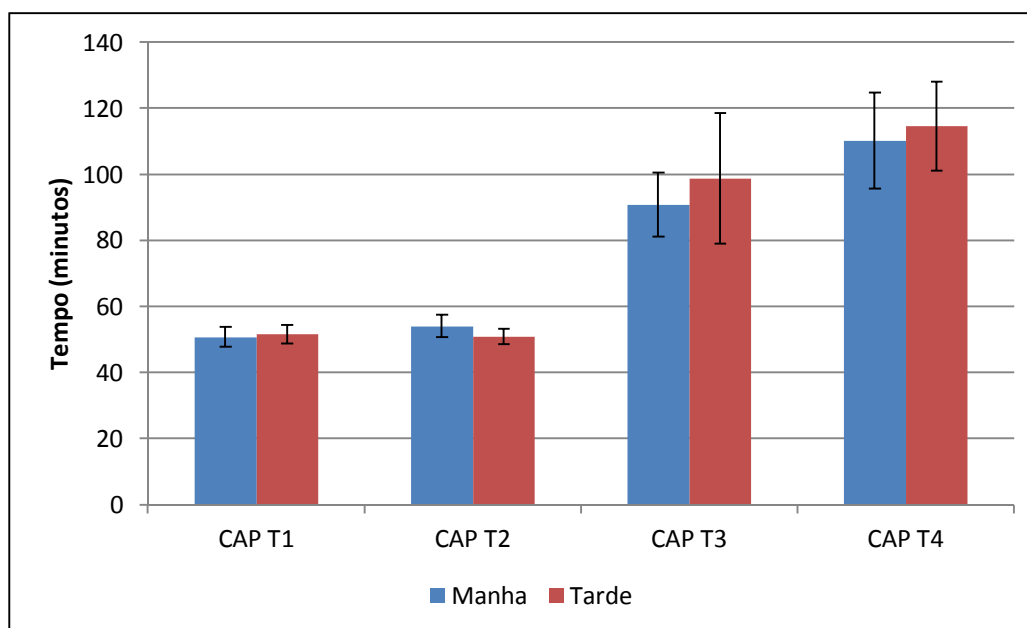


Figura 72 - Comparação do tempo entre ambas as horas de ponta no Circuito Aveiro-Porto.

4.2.4 Influência do comportamento do condutor e do veículo no CAP

Assim como no Circuito Urbano de Aveiro, no Circuito Aveiro-Porto também foram realizados testes com diferentes viaturas e condutores no âmbito de verificar eventuais diferenças e as suas razões. Assim, na tabela abaixo é apresentada uma comparação percentual da mudança de condutor e veículo, nomeadamente do “condutor +veículo B” face ao “condutor A+ veículo A”.

Tabela 18 - Comparação percentual da mudança de condutor e veículo para CAP.

	Vel. média	CO ₂ (Diesel)	NO _x (Diesel)	CO ₂ (Gasolina)	CO (Gasolina)	HC (Gasolina)
CAP T1	3	0	7	0	14	7
CAP T2	7	-3	2	-3	7	2
CAP T3	-14	6	2	6	5	7
CAP T4	6	-3	0	-3	5	-2

Verificando a **Tabela 18**, conclui-se novamente que a mudança de condutor e de veículo traduz-se numa redução de emissões. Para o CAP T1 verifica-se um aumento da velocidade média assim como no CAP T2, destacando-se as emissões de CO para veículos a gasolina, pois como são percursos efetuados em auto-estrada os regimes de acelerações variam de condutor para condutor justificando um aumento de emissões de cerca de 14% no CAP T1. No CAP T3 registou-se uma diminuição da velocidade média com a mudança de condutor e de veículo ao contrário das emissões que aumentaram até cerca de 7%. Para uma melhor perceção apresenta-se a figura abaixo com a distribuição de modos VSP para CAP T 3.

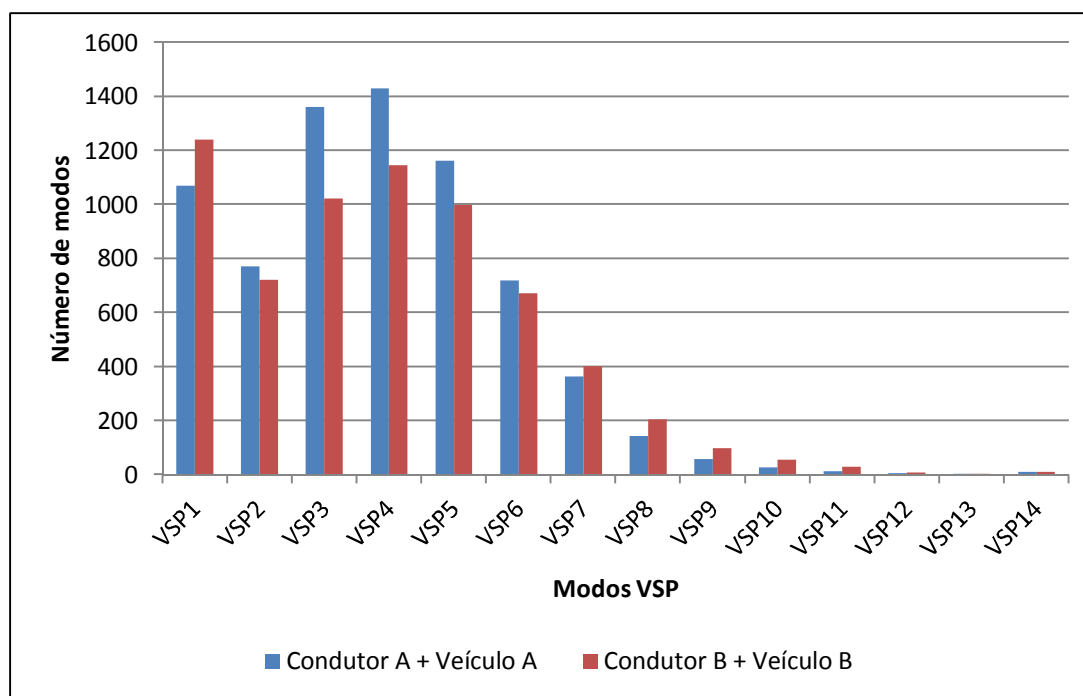


Figura 73 - Distribuição de modos VSP para CAP T4 para diferentes situações.

Analisando a figura acima verifica-se que a situação A está distribuída pelos modos 2, 3, 4, 5 e 6 em maioria pelo que se transmite num regime de acelerações e velocidade maior que a situação B. A diminuição das emissões de CO₂ para a situação B explica-se com a baixa distribuição nos modos iniciais tendo um impacte inverso nas emissões de CO devido às acelerações. Com estas comparações de veículo e condutor é possível verificar que existem diferenças pois a condução de cada indivíduo assim como a resposta física do veículo irá refletir-se nas emissões finais de qualquer percurso.

4.3 Comparação de Resultados Hora de ponta vs. Vazio

Esta secção tem como objetivo comparar os resultados obtidos por Almeida (2010) em testes efetuados fora da hora de ponta e os resultados obtidos no âmbito da presente Dissertação correspondentes aos resultados em hora de ponta.

4.3.1 Comparação Circuito Urbano de Aveiro

Como já foi discutido nas secções anteriores o percurso CUA T1 é efetuado maioritariamente em autoestrada, apresentando assim poucas irregularidades. A Figura abaixo tem como objetivo comparar o perfil de velocidades entre a hora de maior presença de tráfego e a hora de vazio.

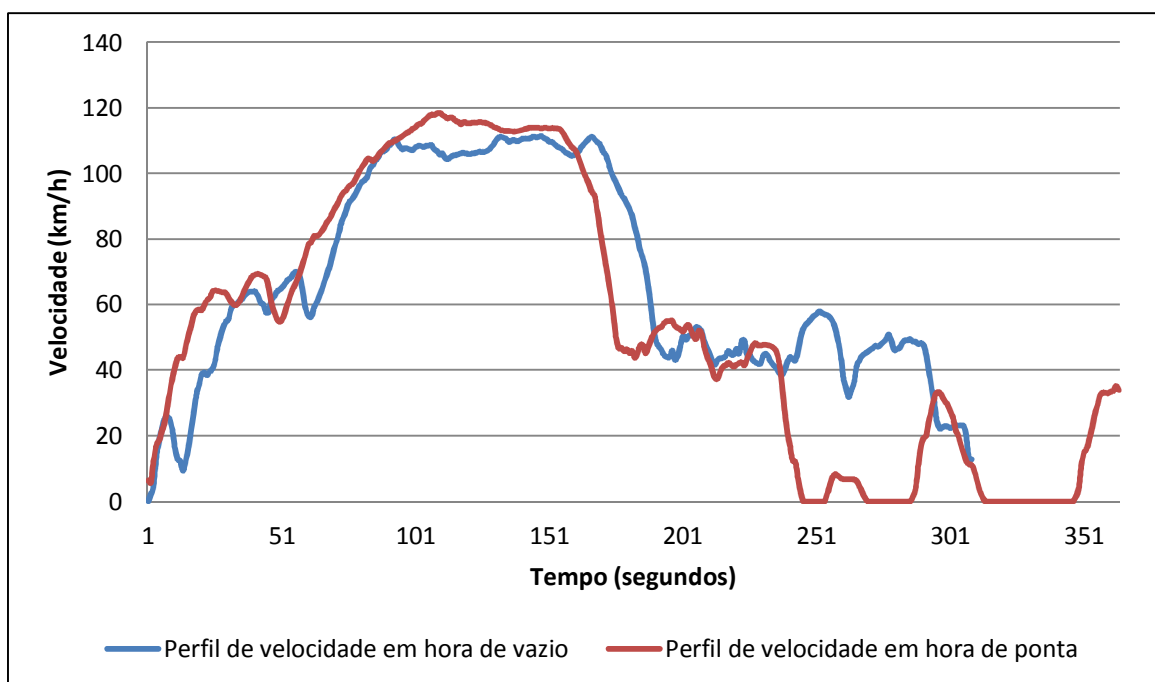


Figura 74 - Perfil de velocidades na hora de vazio e hora de ponta do percurso CUA T1 (TAB-UA).

Ao analisar a **Figura 74** verifica-se que os perfis apresentam algumas semelhanças. Ambos apresentam velocidades na gama dos 100-120 km/h e destaca-se uma paragem que corresponde à sinalização luminosa na rua *Condessa Mumadona* que proporciona um tempo de percurso superior.

Já o percurso CUA T2 apresenta uma maior irregularidade em termos de velocidade, pois é efetuado em estrada nacional (N109) e a presença de tráfego influencia significativamente o perfil de velocidade.

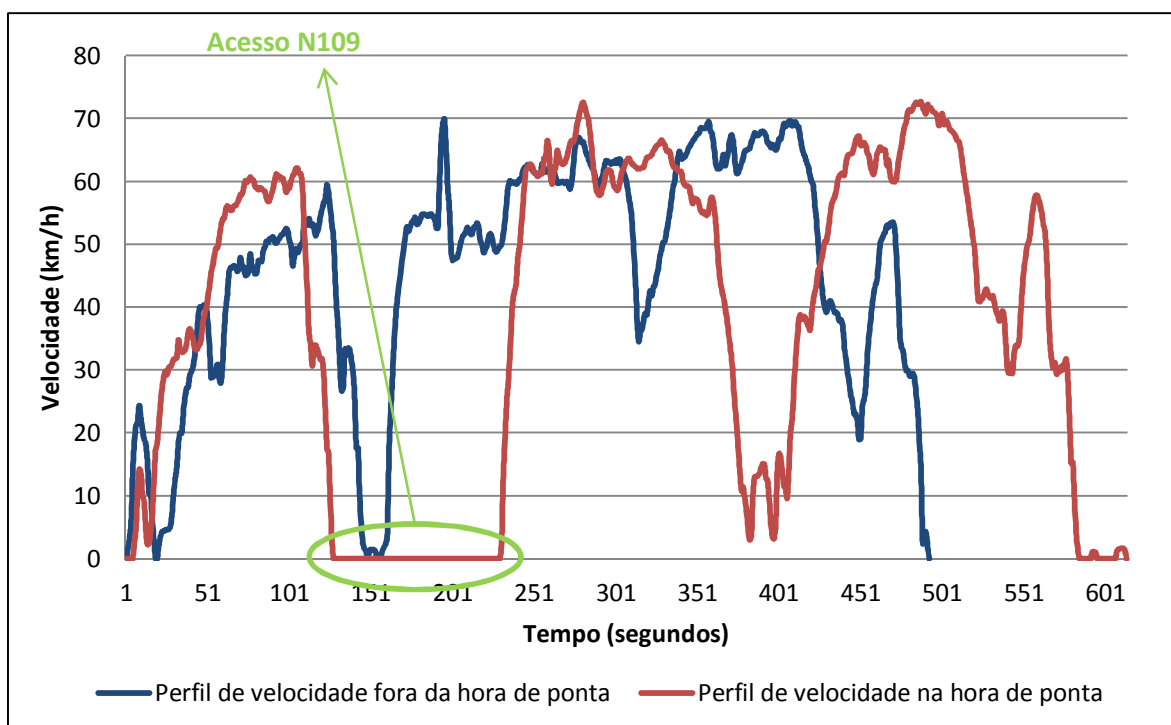


Figura 75 - Perfil de velocidades na hora de vazio e hora de ponta do percurso CUA T2 (UA-TAB).

Na **Figura 75** identificam-se zonas com grande abrandamento (até mesmo de paragem) em comparação com o perfil de velocidade em hora de vazio. Existe um período em que a velocidade é nula que corresponde ao cruzamento para aceder à N109, já que em hora de ponta o volume de tráfego é elevado dificultando o acesso à EN109 em segurança. Já em torno do segundo 401 se verifica uma redução de velocidade correspondente ao congestionamento na rotunda e consequente formação de fila.

O percurso CUA T3 é puramente citadino e por si só apresenta grandes irregularidades a nível da velocidade pois existem diversos obstáculos fazendo com que a velocidade sofra grandes variações.

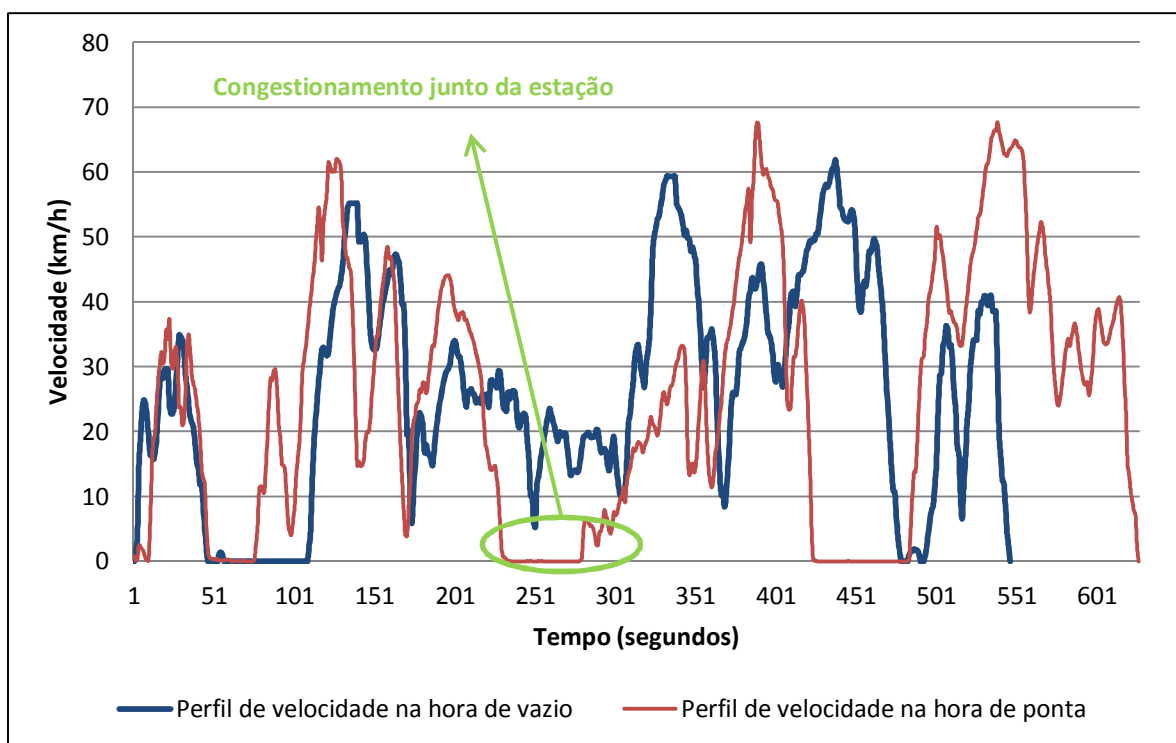


Figura 76 - Perfil de velocidades na hora de vazio e hora de ponta do percurso CUA T3 (UA-TAB).

O perfil acima representa três grandes paragens devido à sinalização luminosa no cruzamento da Avenida 5 de Outubro (junto ao tribunal de Aveiro) e no cruzamento de Esgueira. O outro motivo de paragem foi devido ao congestionamento junto da estação ferroviária onde se situa também a paragem de autocarros.

Comparando as emissões totais de todos os percursos do Circuito Urbano de Aveiro (no sentido UA-Taboeira), da hora de ponta com a hora de fluxo normal de tráfego verifica-se que a hora de ponta resulta numa maior quantidade de emissões como é visível nas **Figuras 77 a 80**. As comparações do CUA no sentido TAB-UA encontram-se no **Anexo II**.

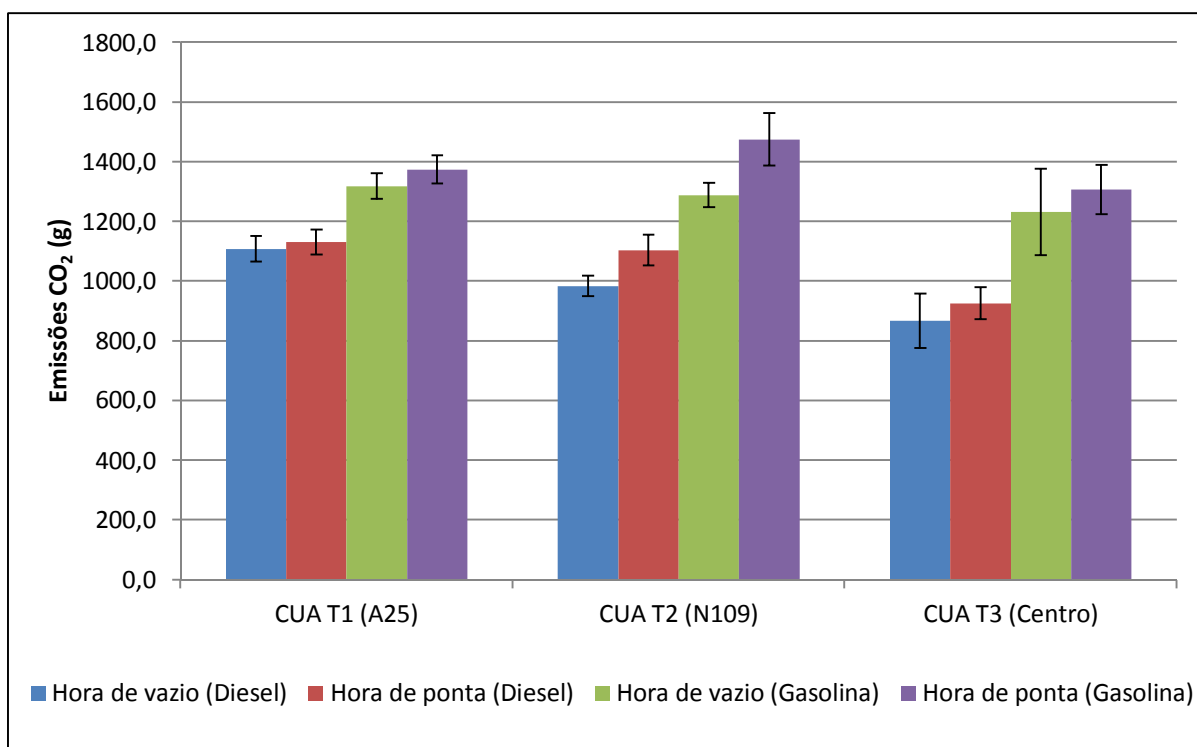


Figura 77 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões CO₂ dos percursos CUA no sentido UA-Taboeira.

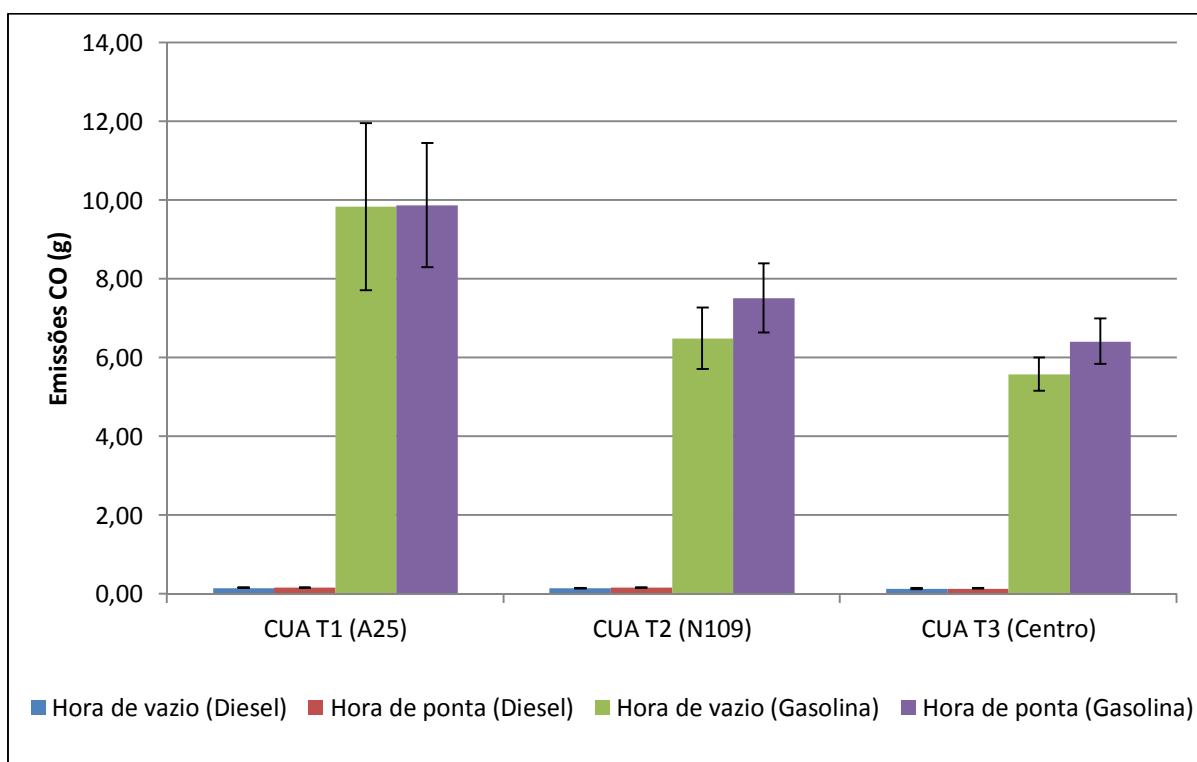


Figura 78 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões CO dos percursos CUA no sentido UA-Taboeira.

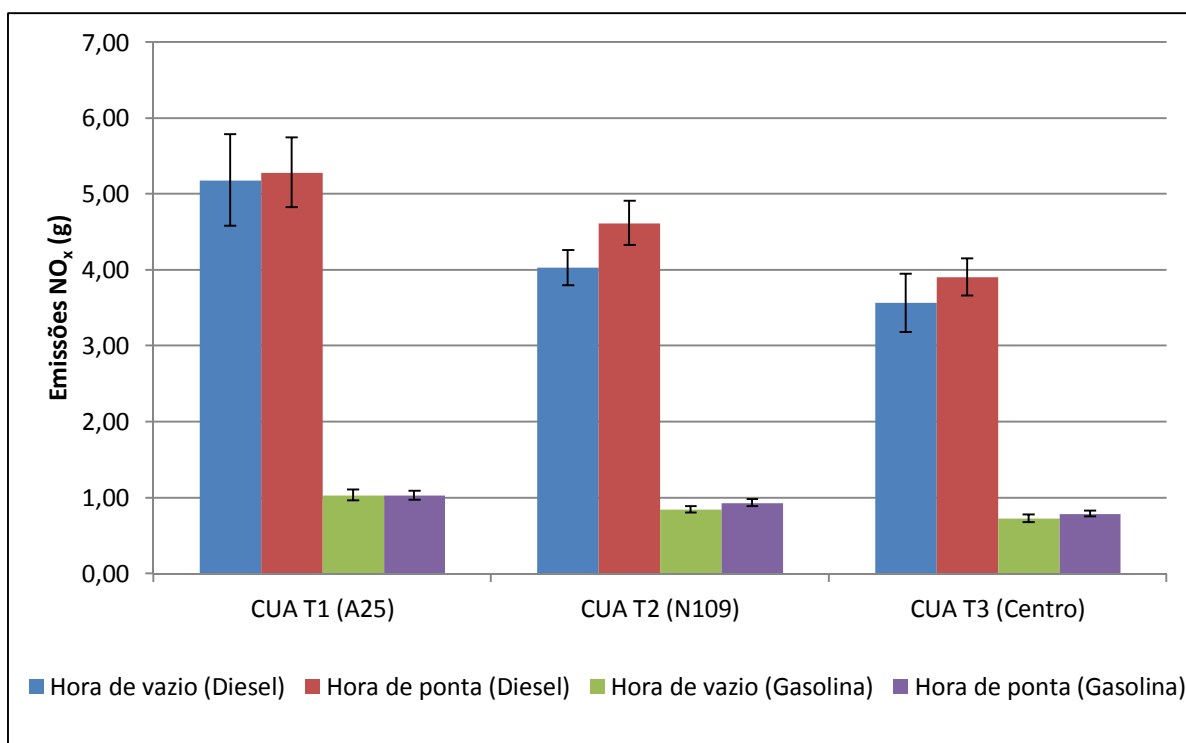


Figura 79 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões NO_x dos percursos CUA no sentido UA-Taboeira.

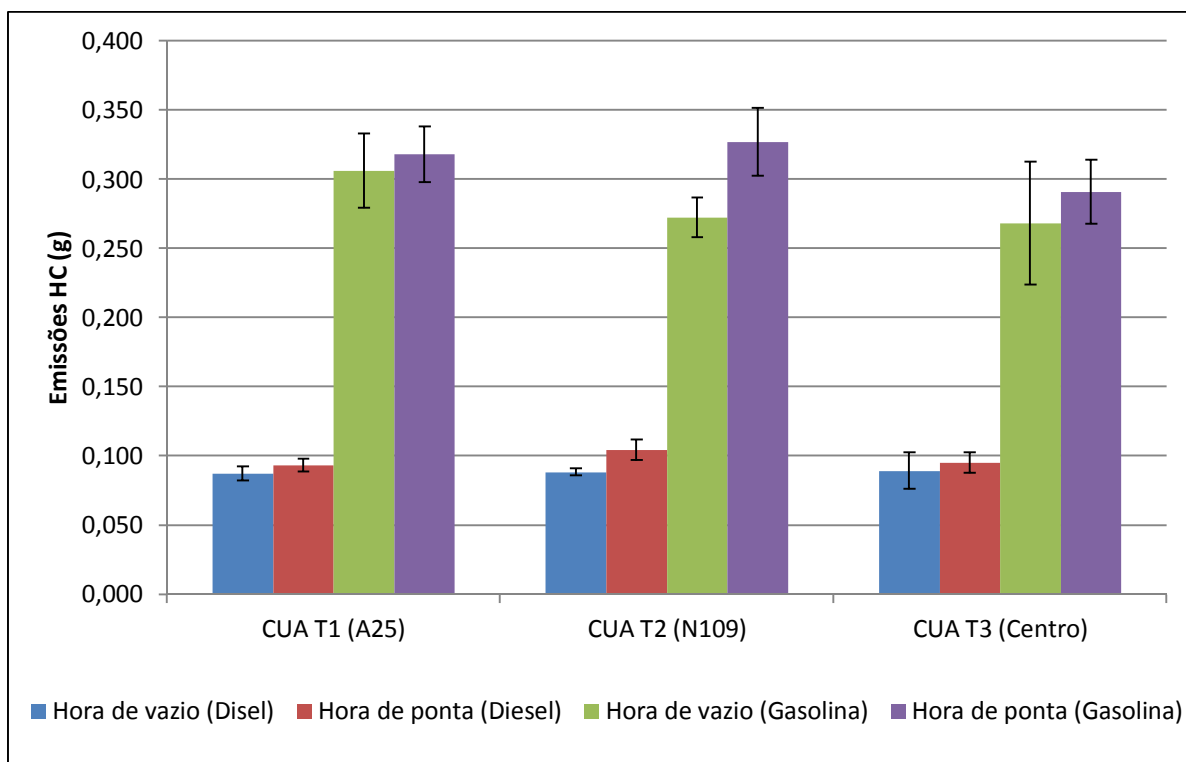


Figura 80 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões HC dos percursos CUA no sentido UA-Taboeira.

Analisando as Figuras anteriores, verifica-se que existe um padrão de aumento de emissões da hora de vazio para a hora de ponta. Tal facto é facilmente justificado com o aumento do fluxo

de tráfego gerando filas e para-arranca, aumentando assim o tempo de viagem e aumentando as emissões totais. Todos os resultados das emissões dos percursos CUA e os respetivos erros dos testes em hora de ponta e em hora de vazio encontram-se no **Anexo III**.

Tabela 19 - Comparação percentual dos percursos em hora de ponta e hora de vazio no Circuito Urbano de Aveiro no sentido UA-Taboeira.

	Diesel				Gasolina			
	CO ₂	CO	NO _x	HC	CO ₂	CO	NO _x	HC
CUA T1 (ponta)/CUA T1 (vazio)(%)	2	3	2	6	4	0	0	4
CUA T2 (ponta)/CUA T2 (vazio)(%)	11	11	13	15	13	14	9	17
CUA T3 (ponta)/CUA T3 (vazio)(%)	6	6	9	6	6	13	8	8

Com o auxílio da **Tabela 19** é possível verificar algumas particularidades:

- ✓ Como o CUA T1 é caracterizado principalmente pela A25, o regime é livre logo o efeito de congestionamento não se observa;
- ✓ O percurso que mais diferenças tem na hora de ponta é o CUA T2 com um aumento de emissões entre 9 a 17% face à hora de vazio;
- ✓ Os percursos CUA T1 e CUA T3 têm um aumento de emissões pouco significativo com um máximo de 13%;
- ✓ No percurso CUA T3 o CO, para veículos a gasolina, é o que mais se destaca com a hora de ponta uma vez que as emissões deste poluente são sensíveis à mudança de condutor assim como às acelerações.

Em relação ao tempo total por cada percurso também se verifica um aumento (Figura 81).

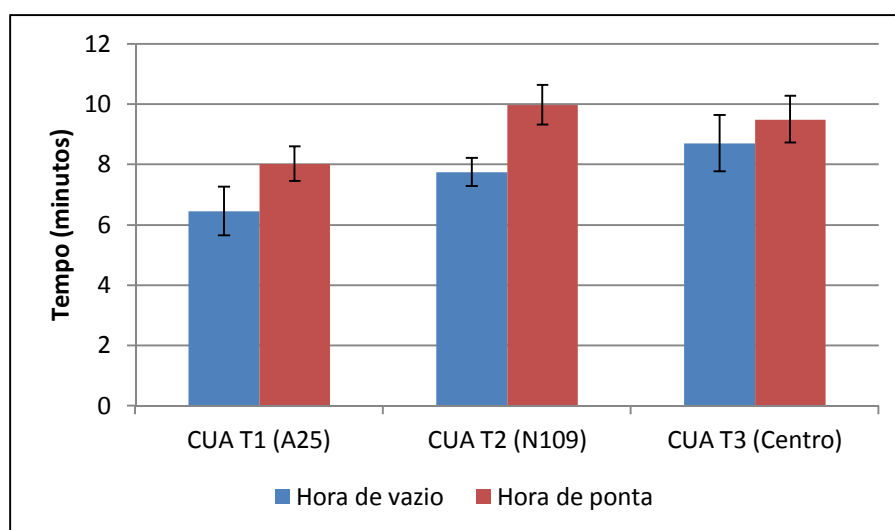


Figura 81 - Duração dos percursos CUA em hora de ponta e hora de vazio e sua variabilidade.

Verifica-se assim que o percurso que mais tempo demora em hora de ponta é o CUA T2 invertendo o cenário de hora de vazio onde o percurso mais demorado era o CUA T3. Assim sendo o que mais varia é o CUA T2 uma vez que em hora de ponta a N109 possui um elevado fluxo de tráfego pois é a ligação entre a cidade de Aveiro e as localidades vizinhas. O aumento do volume de tráfego implica algum congestionamento no acesso a rotundas, cruzamentos, e sinalizações luminosas, aumentando assim o tempo de percurso e aumentando as emissões totais.

4.3.2 Comparação do Circuito Aveiro-Porto

O primeiro percurso do Circuito Aveiro-Porto, CAP T1, como já foi abordado anteriormente, é efetuado em autoestrada, pelo que a hora da ponta não irá ser muito reveladora, excetuando a parte final do trajeto no sentido UA-AMIAL pois onde se destaca a entrada na cidade do Porto devido à presença de grandes volumes de tráfego.

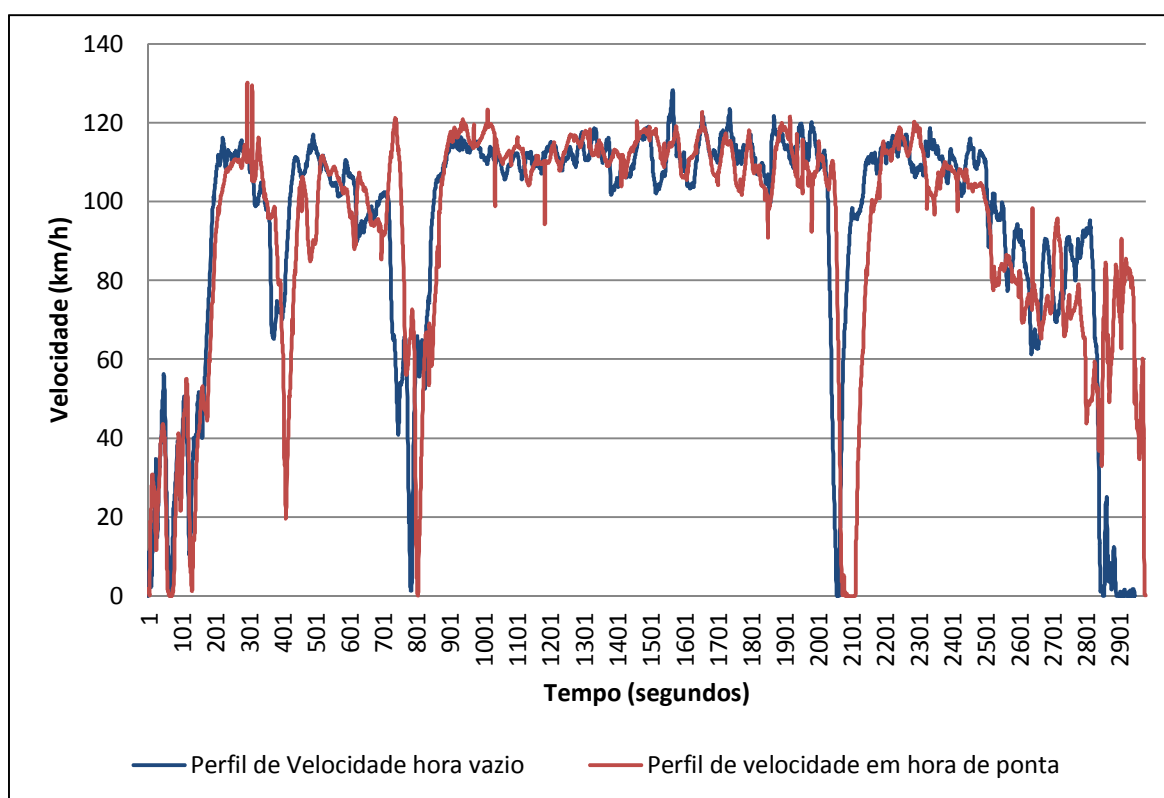


Figura 82 - Perfil de velocidades da hora de ponta e hora de vazio do percurso CAP T1 (sentido UA-Amial).

Através da **Figura 82** é visível que as diferenças nos perfis de velocidade não são muito destacáveis uma vez que grande parte da autoestrada A1 possui 3 vias de circulação em cada sentido o que faz com que o tráfego se distribuía mais uniformemente, permitindo um perfil de velocidades mais constante.

O percurso CAP T2 também não terá muitas diferenças, excetuando a etapa final do percurso, uma vez que também é efetuado sempre em autoestrada. A **Figura 83** representa assim o perfil de velocidades em situações distintas.

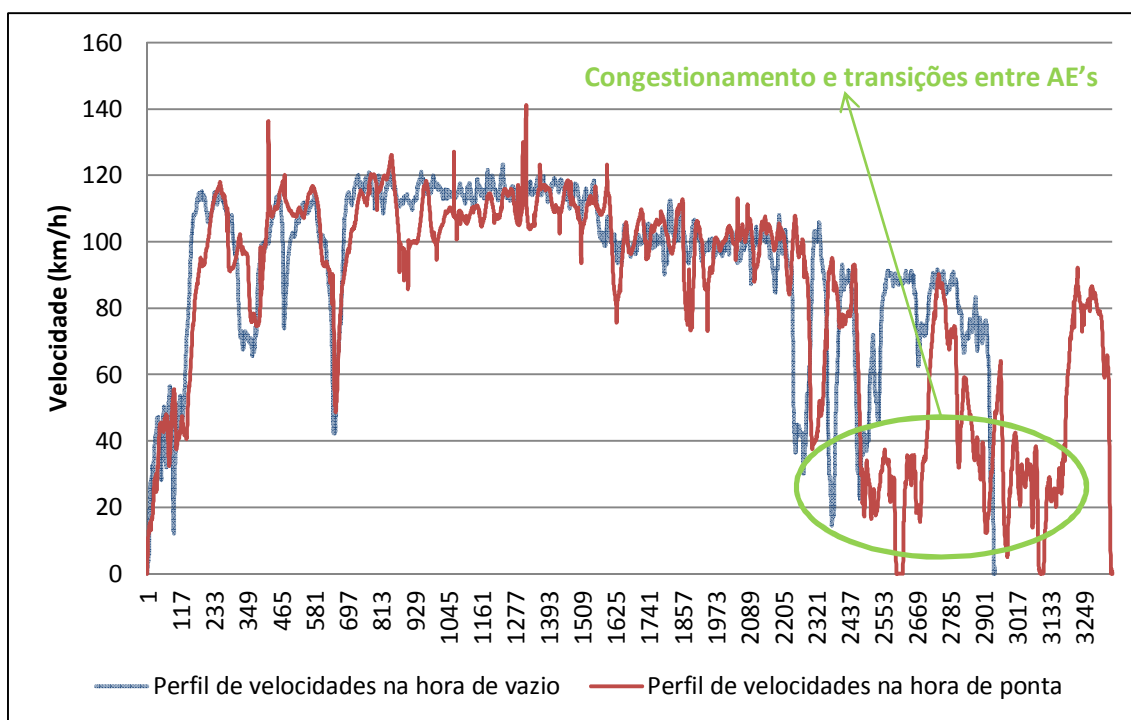


Figura 83 - Perfil de velocidades da hora de ponta e hora de vazio do percurso CAP T2 (sentido UA-Amial).

Segundo a **Figura 83**, os troços finais do percurso em hora de ponta apresentam grandes diferenças comparativamente à hora de vazio, o que é consequência de congestionamento junto da transição da A44 para a A1 (**Figura 84**) e congestionamento também na VCI (**Figura 85**). Deste congestionamento resultam situações de para-arranca, resultando numa diminuição da velocidade média e contribuindo assim para o aumento do tempo total de percurso.



Figura 84 - Congestionamento na transição da A44 e A1 do percurso CAP T2 (UA-Amial).



Figura 85 - Congestionamento na VCI junto à saída da Arrábida do CAP T2 (UA-Amial).

Por sua vez o percurso CAP T3 irá demonstrar algumas diferenças em relação às duas primeiras rotas já que é caracterizado principalmente pela estrada N1.

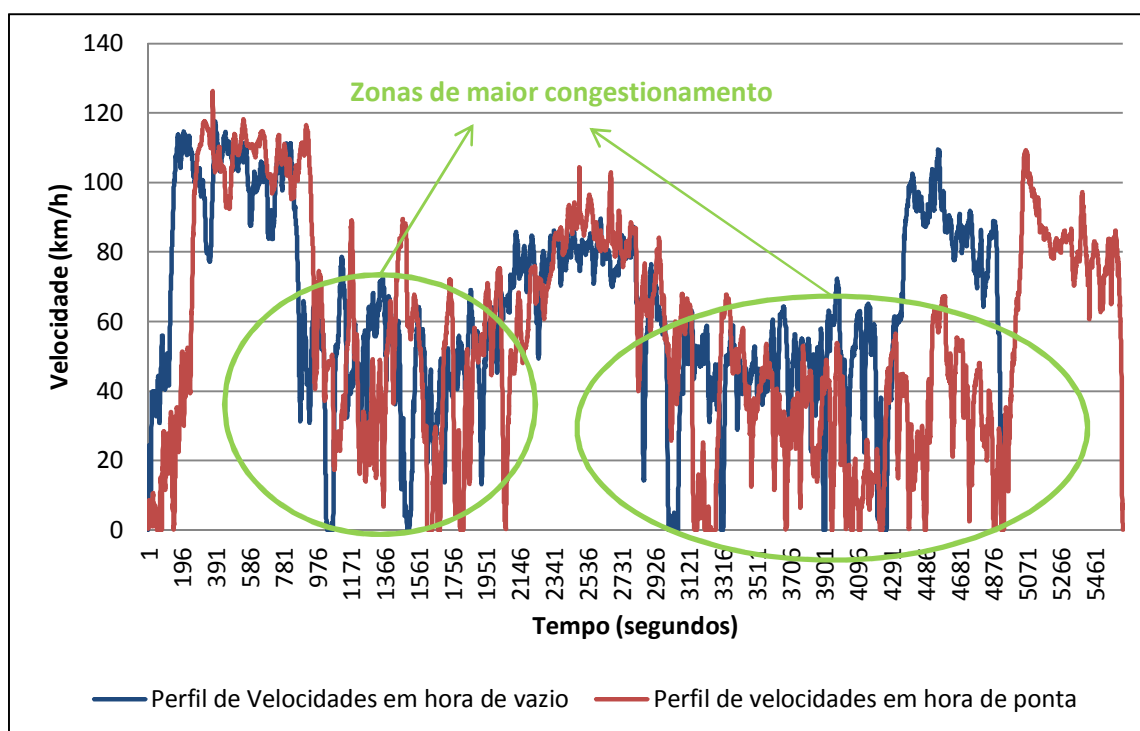


Figura 86 - Perfil de velocidades da hora de ponta e hora de vazio do percurso CAP T3 (sentido UA-Amial).

A figura anterior demonstra um acréscimo no tempo de percurso efetuado em hora de ponta facilmente justificado pelo maior número de paragens e desacelerações. Verificam-se duas zonas distintas no gráfico onde existe uma diferença acentuada entre a hora de ponta e a hora de vazio que correspondem à passagem por zonas residenciais e de serviços com apenas uma via em cada sentido onde o trânsito se faz notar com maior intensidade. Nessas mesmas zonas verifica-se ainda que a velocidade é relativamente menor em relação à hora de vazio. Onde os

dois perfis de velocidade se encontram semelhantes corresponde à circulação em autoestrada onde a presença de tráfego tem um efeito menos notório no perfil de velocidades.

O percurso CAP T4 mostrou-se anteriormente como o percurso mais demorado em qualquer hora do dia. Na Figura 87 são apresentados os perfis de velocidade em hora de ponta e vazio.

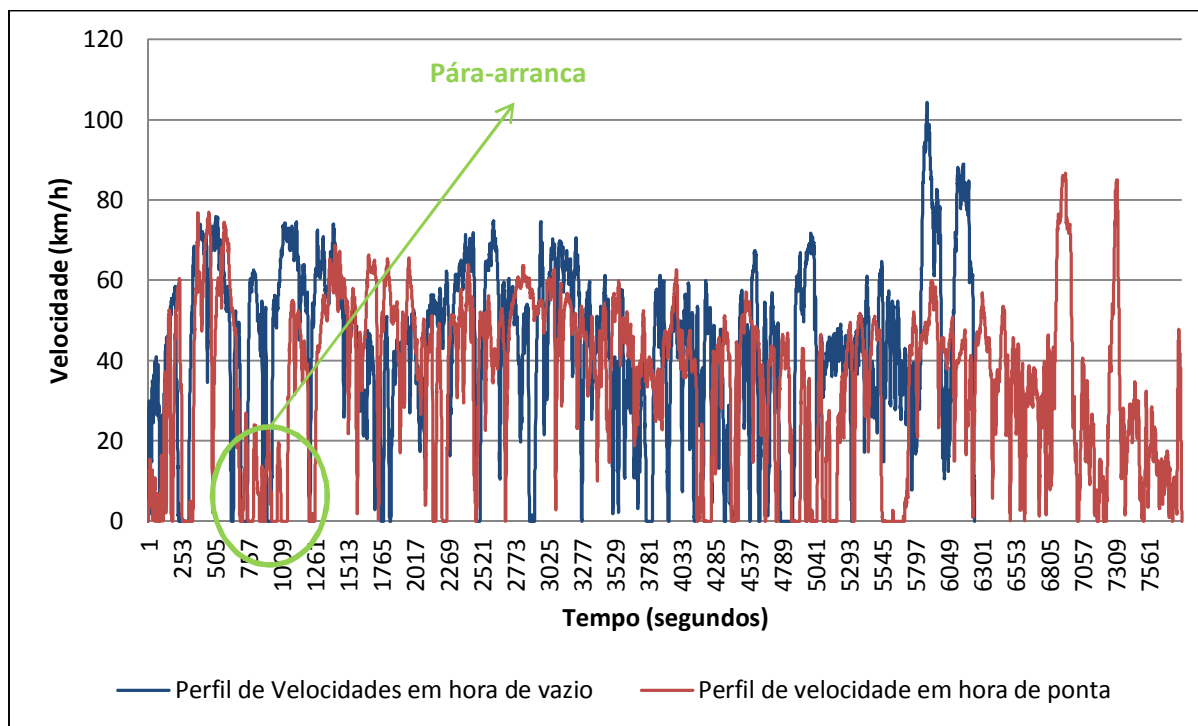


Figura 87 - Perfil de velocidades da hora de ponta e hora de vazio do percurso CAP T4 (sentido UA-Amial).

Ao analisar a **Figura 87** verifica-se que, em geral, a velocidade em hora de ponta é inferior à hora de vazio, assim como o número de desacelerações e paragens é muito mais acentuado devido à maior presença de tráfego e de peões. Devido à presença do fluxo de tráfego mais elevado, a velocidade diminui assim como são mais frequentes as situações de para-arranca, o que acaba por influenciar o tempo de viagem e aumentar as emissões totais do percurso.

Em relação às emissões totais de cada percurso e com o objetivo de comparar a hora de ponta com a hora de vazio são apresentadas as figuras seguintes com um intervalo de confiança de 95% para uma distribuição T-student.

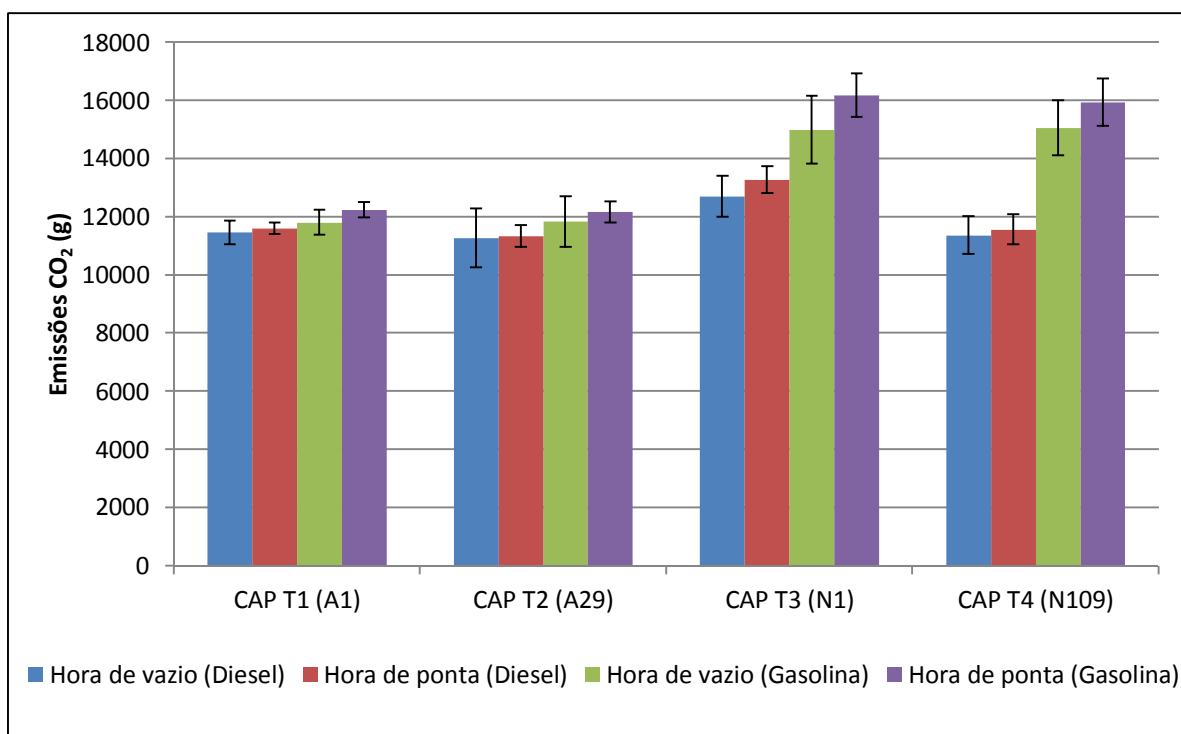


Figura 88 - Comparação de emissões de CO₂ entre hora de vazio e hora de ponta para os percursos CAP.

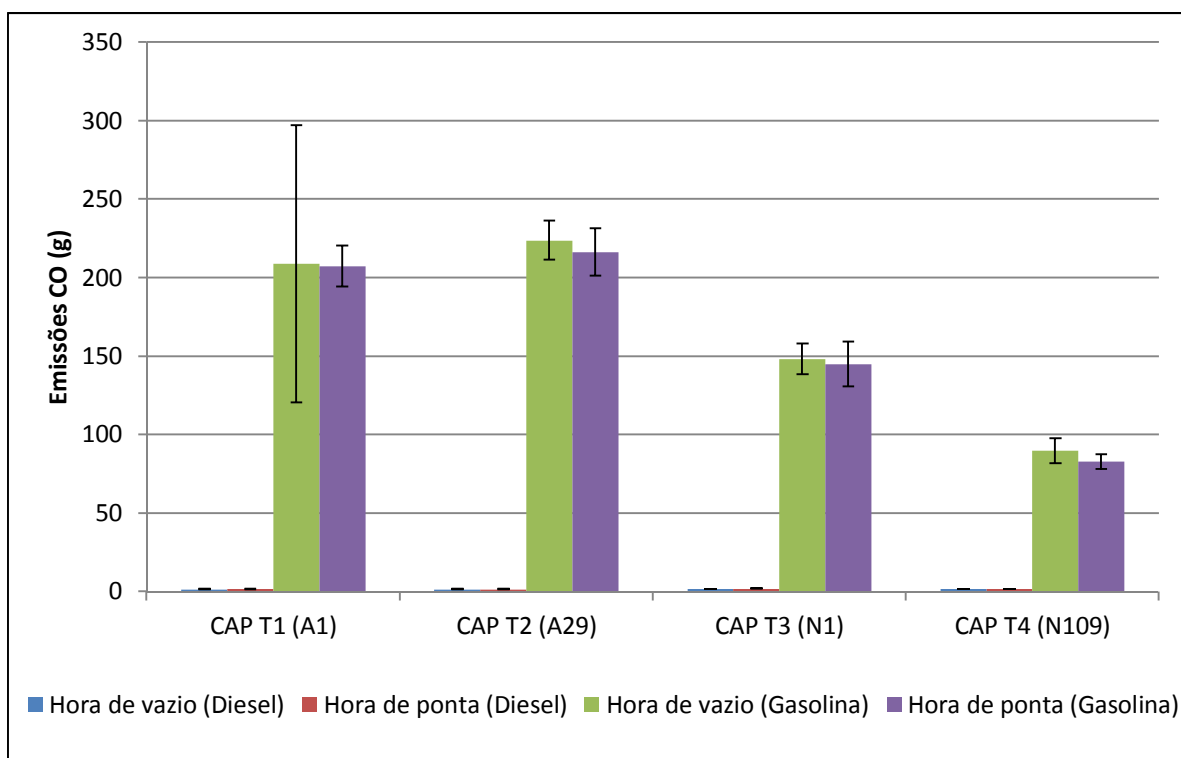


Figura 89 - Comparação de emissões de CO entre hora de vazio e hora de ponta para os percursos CAP.

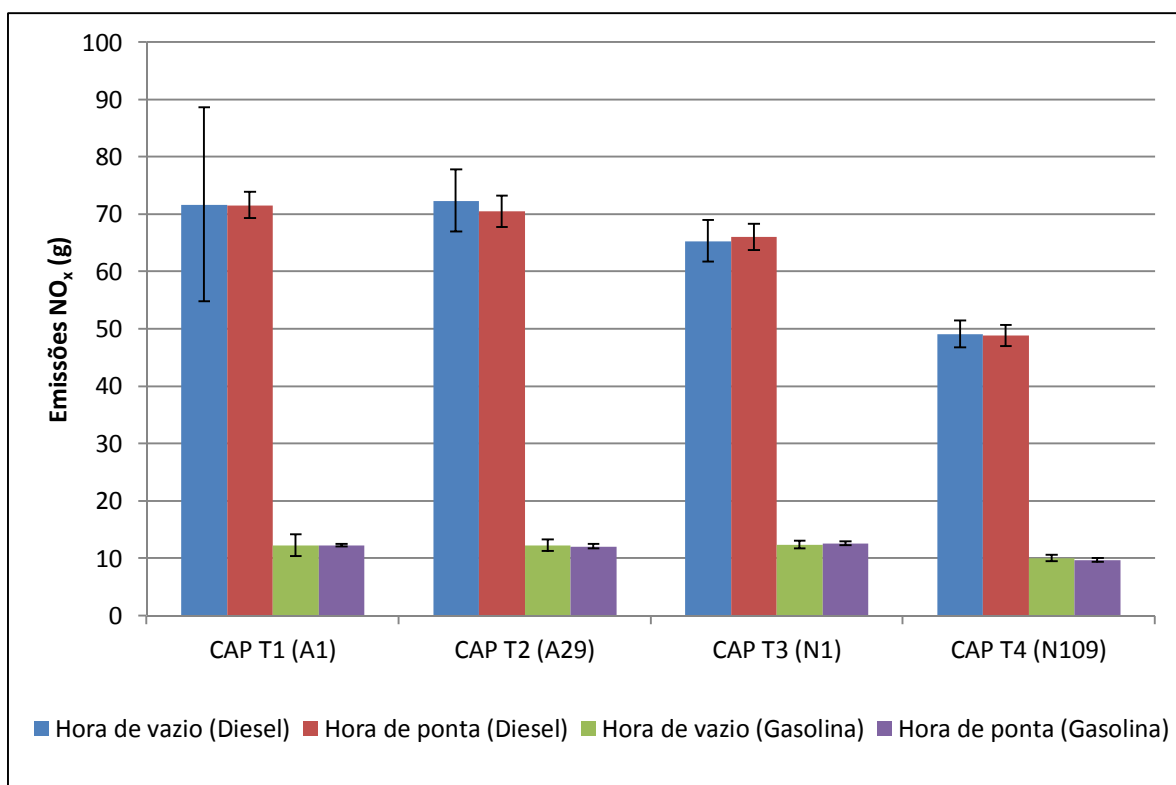


Figura 90 - Comparação de emissões de NO_x entre hora de vazio e hora de ponta para os percursos CAP.

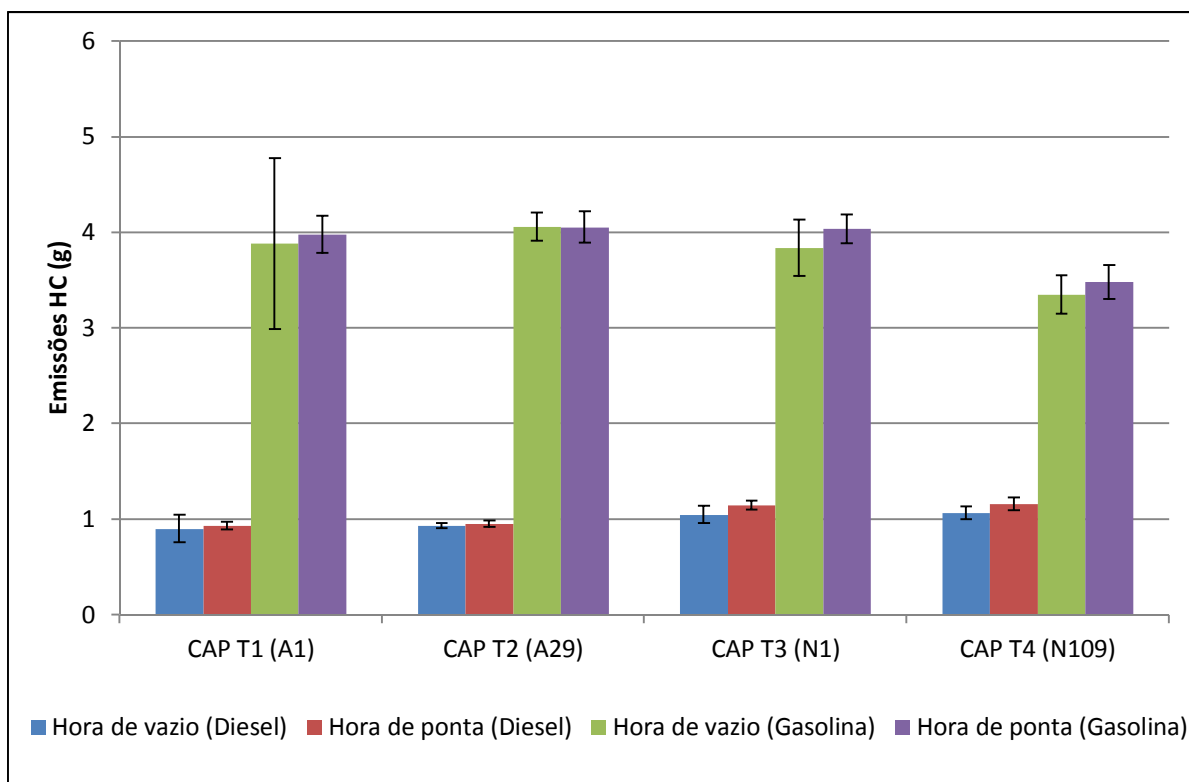


Figura 91 - Comparação de emissões de HC entre hora de vazio e hora de ponta para os percursos CAP.

Após uma análise às figuras anteriores é possível verificar algumas particularidades:

- ✓ As emissões de CO₂ para veículos a diesel entre a hora de ponta e vazio pouco se alteram nos percursos CAP T1, CAP T2 e CAP T4;
- ✓ Ainda em relação às emissões de CO₂ a maior variabilidade verifica-se no CAP T3 com maior ênfase para veículos a gasolina;
- ✓ Em hora de ponta as emissões de CO sofrem uma redução para veículos a gasolina provavelmente devido à diminuição de velocidade e às acelerações que em hora de ponta passam a ser menos acentuadas;
- ✓ De uma forma geral as emissões de CO e tendem a diminuir na hora de ponta o que está diretamente relacionado com a velocidade média que é mais reduzida;

Para uma comparação mais detalhada entre a hora de ponta e a hora de vazio é apresentado na tabela seguinte uma comparação percentual das emissões nos percursos entre as horas de ponta e as horas de vazio.

Tabela 20 - Comparação percentual dos percursos em hora de ponta e hora de vazio no Circuito Aveiro-Porto.

	Diesel				Gasolina			
	CO ₂	CO	NO _x	HC	CO ₂	CO	NO _x	HC
CAP T1 (ponta)/CAP T1 (vazio)(%)	0	2	-7	-2	1	-11	-5	-5
CAP T2 (ponta)/CAP T2 (vazio)(%)	2	3	-3	2	3	-5	-1	0
CAP T3 (ponta)/CAP T3 (vazio)(%)	4	5	1	9	7	-2	2	5
CAP T4 (ponta)/CAP T4 (vazio)(%)	2	4	-1	8	6	-9	-3	4

Através da tabela anterior facilmente se verifica que não existem alterações muito significativas entre a hora de ponta e a hora de vazio, excetuando as emissões de CO que são mais sensíveis para veículos a gasolina. Em condições de hora de ponta as emissões de CO₂ sofrem um aumento até cerca de 7%. O percurso CAP T3 é o que mais sofre alterações em relação às emissões aumentando as emissões de HC até 9 %. As reduções de emissões observadas, ou seja, para CO, NO_x e HC podem ser explicados devido à presença de um maior volume de tráfego, implicando uma diminuição da velocidade média, o que vai de encontro da pesquisa elaborada por Barth et al. (2007), que apontava que as situações de congestionamento moderado eram favoráveis para a redução de emissões. Com a hora de ponta verifica-se ainda um conflito entre o poluente global (CO₂) e os poluentes locais (CO, NO_x, HC) pois com a redução da velocidade média diminui-se a emissão de poluentes locais mas aumenta a emissão de CO₂. Isto demonstra que as emissões globais e locais podem ser inversamente proporcionais pois se aumentasse a velocidade média até ao limiar de emissões mínimas de CO₂, os restantes poluentes teriam emissões superiores.

A Figura abaixo demonstra o tempo efetuado por percurso nas diferentes situações.

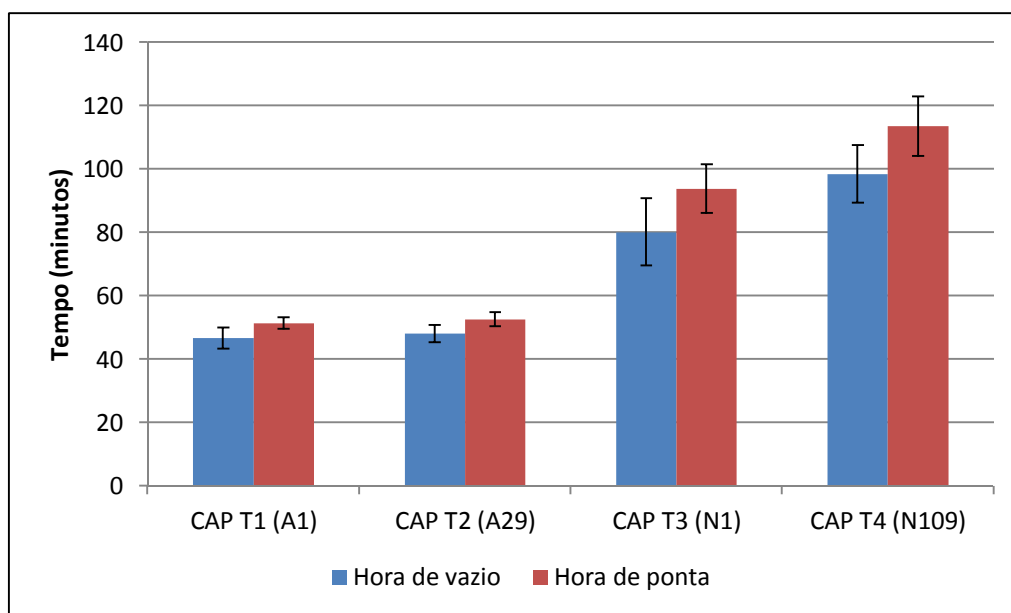


Figura 92 - Duração dos percursos CAP em hora de ponta e hora e de vazio com erro de 95% numa distribuição normal.

A hora de ponta não faz com que nenhum percurso se torne mais rápido que outro nas mesmas condições. Verifica-se então um acréscimo do tempo total em todos os percursos sendo o CAP T4 o que mais varia aumentado cerca de 15%. O tempo total do percurso CAP T3 aumenta em cerca de 17% em relação à hora de vazio. Por sua vez o CAP T1 e CAP T2 variam cerca de 10% e 11%, respetivamente.

5. Conclusões e trabalho Futuro

Neste último capítulo será efetuada uma avaliação global sobre os objetivos estipulados inicialmente assim como serão apontados possíveis desenvolvimentos do presente estudo.

O principal objetivo desta Dissertação consistiu na avaliação da influência da hora de ponta e do aumento dos volumes de tráfego na escolha de rotas assim como a identificação dos principais pontos de congestionamento e de emissões de poluentes nos circuitos delineados por Almeida (2010). Todo o trabalho foi efetuado de forma paralela ao trabalho elaborado por Almeida (2010) de forma a efetuar uma comparação mais clara entre aos períodos de testes. De destacar ainda que todo este trabalho, incluindo o de Almeida (2010), foram baseados numa metodologia de cálculo de emissões inovadora (potência específica do veículo) considerando um total de 5190 quilómetros e 85 horas de dados.

Através de uma ampla análise dos resultados obtidos através das medições experimentais concluíram-se os principais resultados comparativos:

- ✓ As rotas mais poluentes na hora de vazio também o são na hora de ponta;
- ✓ Tendo em conta a minimização de CO₂ a melhor rota para o CUA será o CUA T3 que permite uma redução de cerca de 18% face ao mais poluente. Por sua vez no circuito Aveiro-Porto a melhor oferta será o CAP T2 que possibilita uma redução de cerca de 15% em emissões de CO₂ face ao percurso mais poluente.
- ✓ Tendo em conta as emissões locais (CO, NO_x, HC), nos circuitos urbanos de Aveiro, o CUA T3 é o mais vantajoso permitindo reduções até cerca de 34% de CO, 22% de NO_x e 9% de HC, face a CUA T1. Para o circuito Aveiro-Porto o mais vantajoso é o CAP T4 possibilitando uma redução de CO até cerca de 62%, 32% de NO_x e 14% de HC face a CAP T2.
- ✓ As diferenças relativas entre os percursos CUA variam com a hora de ponta, verificando-se assim uma diminuição da diferença relativa de CO₂ e um aumento da diferença relativa de CO até 43%. Por sua vez a diferença relativa para os percursos CAP tende a aumentar com a hora de ponta para as emissões de CO₂ e a diminuir para as emissões de CO.

Para o Circuito Aveiro-Porto verificou-se um conflito entre a redução de emissões CO₂ e de poluentes locais e conclui-se que:

- ✓ As autoestradas são a melhor opção para a redução de emissões de CO₂
- ✓ As estradas nacionais são a melhor escolha para a redução de poluentes locais, logo uma política estratégica de gestão de tráfego deve ter em conta qual a melhor opção tendo em conta os poluentes mais críticos em determinada zona.

Analisou-se ainda o efeito da aplicação de portagens na A29 (CAP T2) e verificou-se que nos troços da A29 após a aplicação de portagens houve uma diminuição média de 50% no volume de tráfego diário. Por sua vez verificou-se que a A1 absorveu cerca de metade dos veículos que

circulava na A29. O eventual aumento do volume de tráfego a circular em estradas nacionais poder-se-á traduzir num aumento do consumo de energia e das emissões de CO₂.

Sendo este um trabalho em que se obtiveram algumas respostas em relação ao impacto do congestionamento na escolha de rotas do dia-a-dia que todos os condutores enfrentam, poderia assim tomar um contínuo desenvolvimento como por exemplo:

- ✓ Proceder à construção de um modelo de tráfego, por exemplo em VISSIM, de algumas rotas de ambos os circuitos e comparar os resultados com os obtidos experimentalmente.
- ✓ Desenvolver uma metodologia integrada que permita a disponibilização do conjunto de informação gerada neste trabalho, em sistemas avançados de informação de tráfego (por exemplo, software online de planeamento de rotas, ou dispositivos de navegação GPS).

6. Referências Bibliográficas

- Abdel-Aty, M. A., Kitamura, R., Jovanis, P. P., 1997. Using stated preference data for studying the effect of advanced traffic information on driver's route choice. *Transportation Research C* 5, 39-50.
- Agência Portuguesa do Ambiente, 2008. Programa Nacional para as Alterações Climáticas. Resolução Do Conselho De Ministros nº1, 4 de Janeiro de 2008.
- Agência Portuguesa do Ambiente, 2004. Programa Nacional para as Alterações Climáticas. Resolução do Conselho de Ministros n.º 119, 31 de Julho de 2004.
- Ahn, K., Rakha, H., 2008. The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions. *Transportation Research Part D* 13, 151 - 167.
- Almeida, T., 2010. Monitorização experimental de Rotas Alternativas Para Veículos. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro, 152 pp.
- Associação Nacional Municípios Portugueses, 2007. Conferência temática: "Mobilidade nos Municípios": Organização e financiamento do transportes público.
- Bandeira, J., Almeida, T., Khattak, A., Roupail, N., Coelho, M. C., 2011. Characterization of urban environment to enhance the driver's route choice – Application to urban and suburban routes. *Atas do 90th Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington D.C. (EUA), Janeiro de 2011.
- Barth, M., Boriboonsomsin, K., Vu, A. Environmentally-Friendly Navigation. *Proceedings of the 2007 IEEE*
- Carfolio. Database of car technical specifications on the internet. 1998. Disponível em: <http://www.carfolio.com/specifications/models/car/?car=118536>, acedido a 23-09-2011.
- Coelho, M. C., Zhai, H., Frey, H. C., Roupail, N. M., Pelkmans, L., 2009. Assessing Methods for Comparing Emissions from Gasoline and Diesel Light-Duty Vehicles Based on Microscale Measurements. *Transportation Research D*, 14 (2), 91-99.
- Coelho, M.C., 2010. Capítulo 2 – Situação Actual dos Transportes. Elementos de Estudo da disciplina "Energia, Mobilidade e Transportes", Universidade de Aveiro.
- De Vlieger, I., De Keukeleere, D., Kretzshmar, J., 2000. Environmental effects of driving behaviour and congestion related to passenger cars. *Atmospheric Environment* 34, 4649-4655.
- Du, J., Aultman-Hall, L., 2007. Increasing the accuracy of trip rate information from passive multi-day GPS travel datasets: Automatic trip end identification issues. *Transportation Research Part A* 41, 220 – 232.

European Commission Mobility & Transport, 2011. White Paper. Disponível em: ec.europa.eu/transport/strategies/2011_white_paper_en.htm

Frey, H.C., Roupail, N.M., Zhai, H., Farias, T.L., Gonçalves, G.A., 2007. Comparing real-world fuel consumption for diesel and hydrogen fuel transit buses and implication for emissions. *Transportation Research Part D* 12, 281 – 291

Frey, H.C., Zhang, K., Roupail, N.M., 2008. Fuel Use and Emissions Comparisons for Alternative Routes, Time of Day, Road Grade, and Vehicles Based on In-Use Measurements. *Environmental Science & Technology* 42, 2483 - 2489.

Golledge, R.G., Stimson, R.J., 1997. Spatial Behavior: A geographic perspective, Decision making and choice behavior models. Guilford Press, New York, pp. 31 - 70.

Golledge, R.G., Garling, T., 2002. Transportation systems planning: Methods and applications, Spatial behavior in transportation modeling and planning. CRC Press, New York.

Google Inc., 2011. Google Maps. Maps.google.pt, acedido a 2-05-2011.

Hunt, J.D., Abraham, J.E., 2007. Influences on bicycle use. *Transportation*, 34, 453-470.

Schlaich, J., 2009. Analyzing route choice behaviour with mobile phone trajectories. *Transportation*, 78-95.

IEA, 2011. CO₂ Emissions From Fuel Combustion HIGHLIGHTS, 2010. www.iea.org/co2highlights/co2highlights , acedido a 23-04-2011.

INE, 2000. Inquérito à Mobilidade Da População Residente. Instituto Nacional De Estatística.

INIR, 2010. Relatório de tráfego – 4º Trimestre de 2010. Instituto Nacional de Infraestruturas Rodoviárias.

Jackson, E., Aultman-Hall, L., Holmen, B. A., Du, J.. Evaluating the Ability of Global Positioning System Receivers to Measure a Real-World Operating Mode for Emissions Research. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.1941, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2005, pp. 43-50.

NCSU, 2002. Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA's Multi-Scale Motor Vehicle & Equipment Emission System. Publication EPA 420-R-02-027. North Carolina State University for US Environmental Protection Agency, Ann Harbor.

Papinsky, D., Scott, D.M., Doherty, S.T., 2009. Exploring the route choice decision-making process: A comparison of planned and observed routes obtained using person-based GPS. *Transportation Research Part F* 12, 347-358.

Qstarz, 2010. Especificações do GPS. Disponível em: <http://www.qstarz.com/Products/GPS%20Products/BT-Q1000XT-S.htm>. Acedido a 24 Março de 2011.

Soares A., Lopes P., Loureiro A., 2008. Plano de Mobilidade para a cidade de Aveiro, (Documento cedido pela Câmara Municipal de Aveiro).

Toyota Motor Marketing Europe, 2010. Especificações Toyota Yaris. www.toyota.pt/cars/new_cars/yaris/fullspecs.aspx. Acedido a 22 Março de 2011.

World Resources Institute, 2010. Disponível em: <http://cait.wri.org>. Acedido a 20 de Abril de 2011.

Vitorino, A.P., 2007. Conferência Transportes para um Desenvolvimento Sustentável, Conferência TDeS'07, Lisboa.

Wolf, J., Hallmark, S., Oliveira, M., Guensler, R., Sarasua, W., 1999. Accuracy issues with route choice data collection by using global positioning system. Transportation Research Record, 1660, 66 - 74.

World Resources Institute (2006). Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) on-line database

Zhai, H., Frey, H.C., Roupail, N.M., 2008. A Vehicle-Specific Power Approach to Speed and Facility Specific Emissions Estimates for Diesel Transit Buses. Environmental Science & Technology 42, 7985 - 7991.

Zhang, K., Batterman, S., Dio, F., 2011. Vehicle emissions in congestion: Comparison of Work zone, rush hour and free-flow conditions. Atmospheric Environment 45, 1929-1939.

Anexos

Anexo I – Resumo de resultados obtidos fora da hora de ponta (Almeida, 2010)

Anexo II – Comparação dos percursos CUA no sentido Taboeira-UA em hora de vazio e em hora de ponta

Anexo III – Emissões nos circuitos CUA em hora de ponta e em hora de vazio

Anexo IV – Emissões nos circuitos CUA em hora de ponta e em hora de vazio

Anexo I – Resumo de resultados obtidos fora da hora de ponta (Almeida, 2010)

Almeida (2010) efectuou a análise de resultados sob várias perspectivas e assim sendo, para uma comparação mais eficiente, os novos resultados serão apresentados de forma semelhante.

Circuito Urbano de Aveiro

O trajeto CUA T1 é efectuado em autoestrada (A25) e o troço compreendido entre a Rotunda da Universidade e o acesso à A25 é uma zona potencial de para-arranca devido à presença de peões, sinalização luminosa, rotundas e tráfego intenso o que pode originar alguns picos de emissões (**Figura 34**).

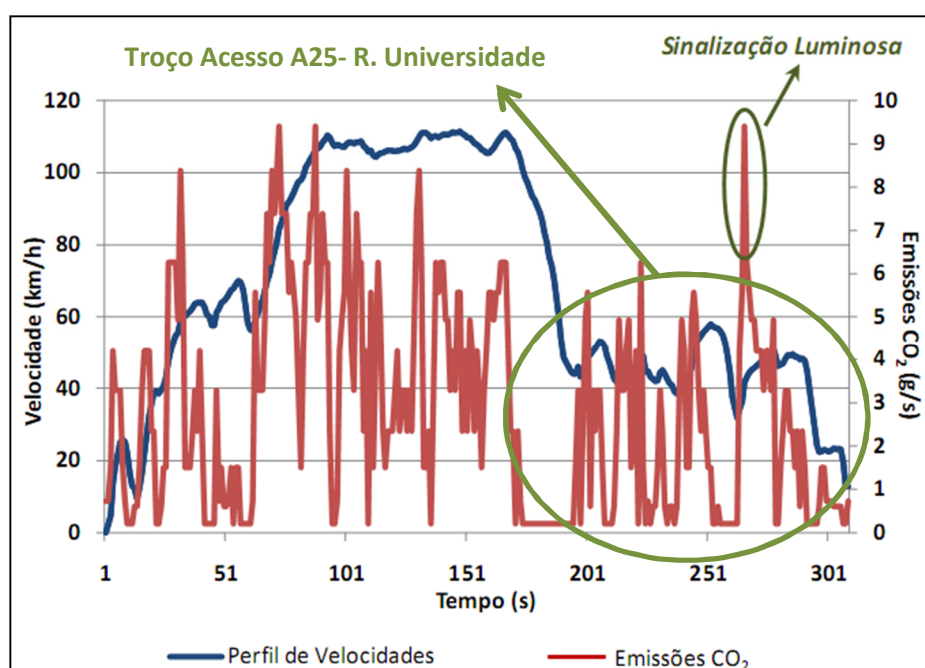


Figura 1 - Perfil típico de velocidades e emissões de CO₂ CUA T1 (Taboeira-UA) (Almeida, 2010)

Em relação ao troço da A25, apesar de ter um declive constante assim como os perfis de aceleração, as velocidades mais elevadas originam um elevado nível de emissões, resultando em 55% das emissões totais de CO₂ para veículos a Diesel e 45% para veículos a Gasolina. Já o troço final do percurso (saída A25 - Rotunda da Taboeira) tem características semelhantes ao primeiro mas com uma ligeira redução da presença de peões e intersecções.

Atendendo à caracterização do CUA T2 no capítulo anterior, verifica-se que é constituído principalmente por estrada nacional e, assim sendo, Almeida (2010) dividiu a análise do percurso em três troços. Entre a Rotunda da Universidade e o acesso à N109 o tráfego é especialmente caracterizado pelos transportes colectivos e individuais, sendo uma via bastante movimentada o que pode resultar num para-arranca. Os principais pontos críticos assinalados foram então o acesso à N109, a sinalização luminosa na avenida da universidade e a presença de rotundas, como se pode verificar na abaixo.

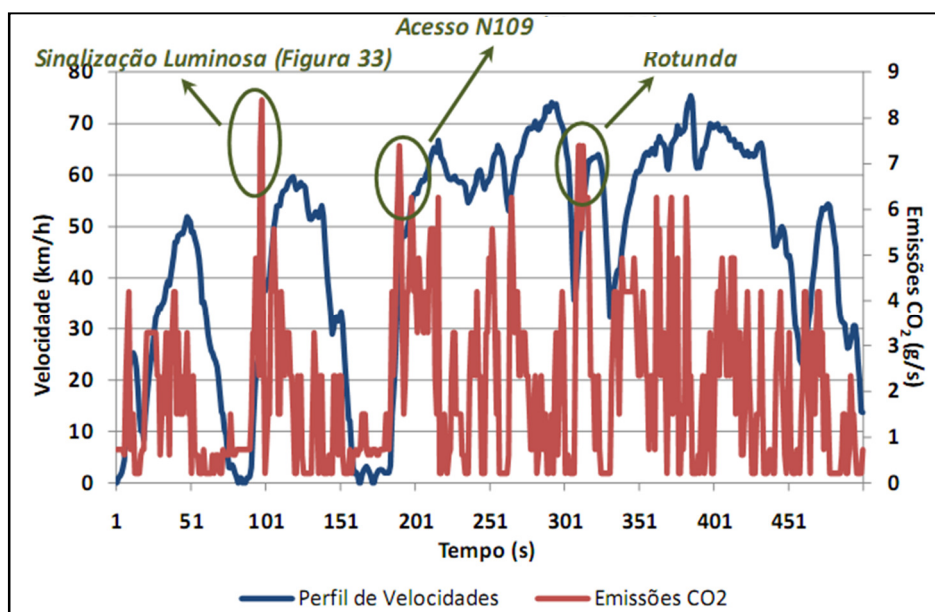


Figura 2 - Exemplificação de pontos críticos no trajeto CUA T2. (Almeida, 2010)

Relativamente ao trajeto 3, e tendo em conta a sua caracterização pois é um percurso absolutamente citadino, o perfil de acelerações e emissões será muito variado devido à presença de vários obstáculos, nomeadamente sinalização luminosa, intersecções e estacionamento em segunda fila. Os pontos críticos deste trajeto são o cruzamento junto à zona do tribunal de Aveiro, diversas rotundas ao longo do percurso e as sinalizações luminosas como se verifica na seguinte:

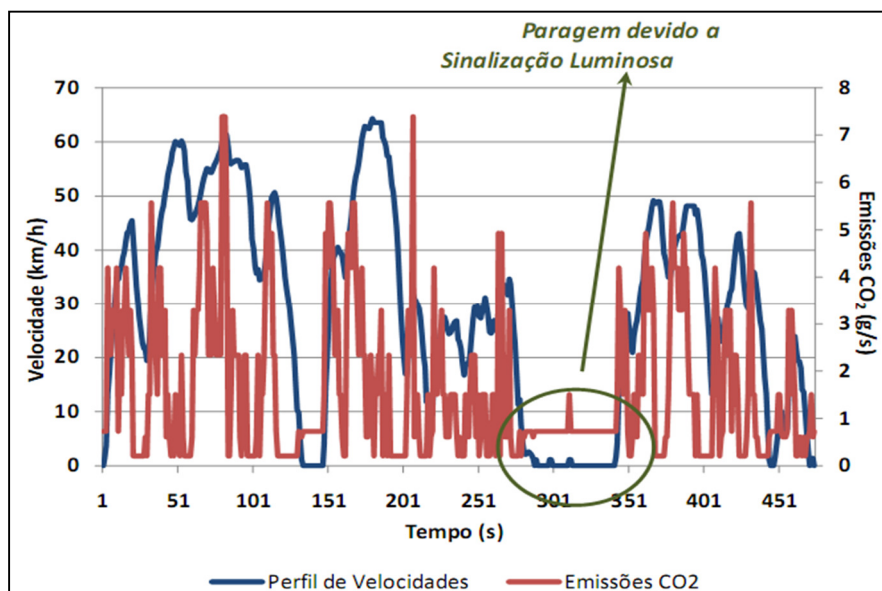


Figura 3 - Perfil típico de velocidade e emissões CO₂ CUA T3 (Taboeira-UA). (Almeida, 2010)

Almeida (2010) verificou que o percurso CUA T1 é o mais poluente, em relação apenas às emissões de CO₂ (Figura37). De modo geral, abaixo, é apresentada uma tabela de comparações percentuais face ao percurso CUA T1.

Tabela 1 - Comparação percentual emissões totais dos circuitos CUA (base: CUA T1=0).
(Almeida, 2010)

	Diesel				Gasolina			
	CO ₂	CO	NO _x	HC	CO ₂	CO	NO _x	HC
CUA T1/CUA T2(%)	10	1	30	-5	-2	58	20	11
CUA T1/CUA T3(%)	24	11	44	-7	1	77	35	10

Assim, em relação ao CUA T1 destacaram-se as seguintes singularidades:

- ✓ Emissões de HC, para veículos Diesel, são maiores para os percursos CUA T2 e CUA T3 em 5 e 7%, respetivamente;
- ✓ As emissões de CO₂ para veículos a gasolina são semelhantes para todos os percursos;
- ✓ O poluente que mais se destaca em relação a outros percursos é o NO_x que é superior no CUA T1 em 20-30% face a CUA T2 e 35-44% face a CUA T3;

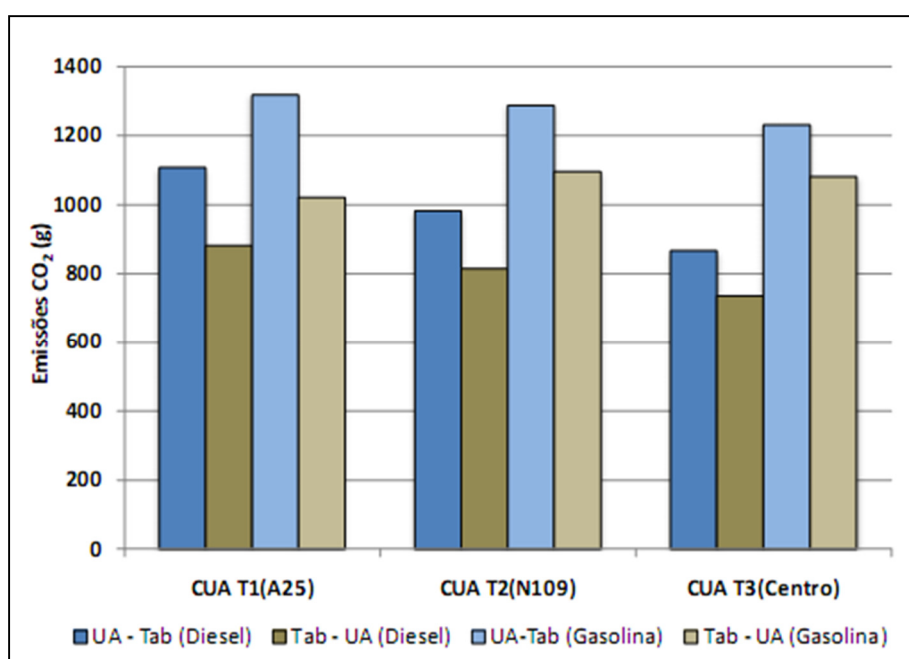


Figura 4 - Emissões médias totais de CO₂ para o Circuito Urbano de Aveiro. (Almeida, 2010)

Verificou-se também que no sentido Taboeira-UA as emissões eram menores face ao sentido inverso para veículos a Diesel e Gasolina e para todos os percursos, tal facto deveu-se essencialmente às menores distâncias desse mesmo sentido assim como um número mais reduzido de intersecções e rampas.

As emissões por quilómetro também foram levadas a cabo para uma comparação entre percursos e foi verificado que o CUA T3 é, globalmente, o percurso mais crítico como se verifica a nível das emissões de CO₂ na **Figura 5**.

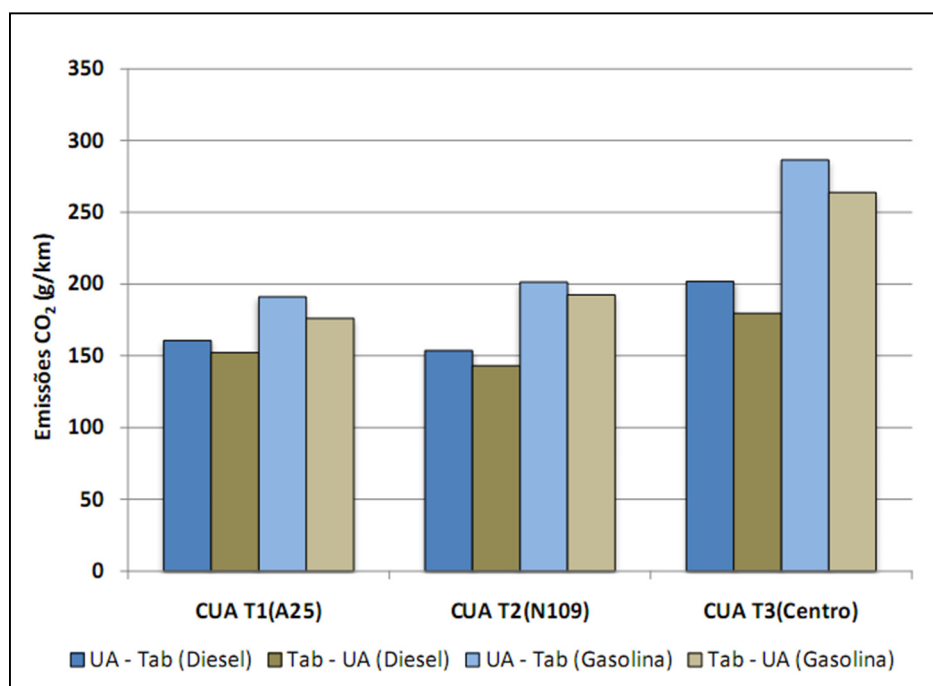


Figura 5 - Emissões médias por quilómetro de CO₂ para o circuito CUA. (Almeida, 2010).

As emissões por quilómetro do percurso CUA T3 são superiores às dos restantes percursos, sendo as emissões totais menores do que em qualquer outro percurso, o que pode ser explicado com a relação de distâncias entre os percursos. Para uma melhor perceção de tal facto, em baixo é apresentada uma tabela de comparação percentual dos trajetos relativamente ao CUA T3.

Tabela 2 - Comparação percentual de emissões por quilómetro dos circuitos urbanos de Aveiro (Almeida, 2010)

	Diesel				Gasolina			
	CO ₂	CO	NOx	HC	CO ₂	CO	NOx	HC
CUA T3/CUA T2(%)	28	30	30	47	40	28	28	45
CUA T3/CUA T1(%)	22	36	5	63	50	-15	11	37

Almeida (2010), realizou todos os testes num período fora da hora de ponta, e constatou que o percurso CUA T1 tende a ser o mais rápido e o CUA T3 o mais lento.

As tendências são confirmadas com os tempos médios obtidos para os 3 percursos estudados, como é apresentado na **Tabela 3**.

Tabela 3 - Durações médias dos percursos CUA, em minutos (Almeida, 2010)

CUA T1	UA-TAB	7,2	MÉDIA	5,6
	TAB-UA	5,9		
CUA T2	UA-TAB	7,7	MÉDIA	7,2
	TAB-UA	6,7		
CUA T3	UA-TAB	8,5	MÉDIA	8,3
	TAB-UA	8,0		

Circuito Aveiro-Porto

O trajeto CAP T1, tendo em conta a sua posterior caracterização, facilmente se compreende que os perfis de velocidade se mantêm com uma certa regularidade ao longo do percurso, assim como as suas emissões. É de frisar novamente que o aumento das emissões de CO₂, neste caso, é justificável de com o aumento da velocidade. Sendo um percurso realizado em autoestrada, apresenta assim um fluxo de tráfego reduzido, não apresentando picos aceleração significativos, encontrando-se durante o percurso três pontos críticos:

- ✓ Portagens, entrada e saída da A1;
- ✓ Percurso na VCI, na qual o sentido UA-Amial se efetua em subida originando um pico de aceleração;
- ✓ Troço entre rotunda da Universidade e acesso à A25, sendo um troço citadino apresenta um perfil de para-arranca;

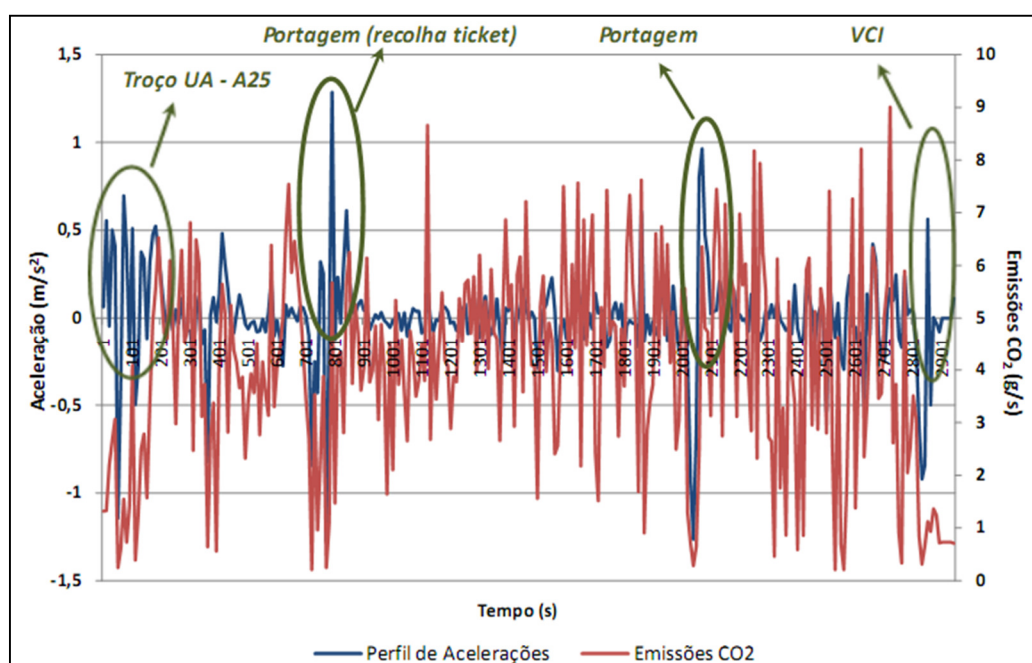


Figura 6 - Perfil típico de aceleração e emissões CO₂ CAP T1 UA-Amial. (Almeida, 2010)

O trajeto CAP T2 é um percurso com poucas particularidades uma vez que também é efetuado em autoestrada. Os pontos críticos deste percurso assinalam-se como sendo as transições entre autoestradas assim como (Figura 41):

- ✓ Transição A25-A29;
- ✓ Transição A29-A44;
- ✓ Transição A44-A1;

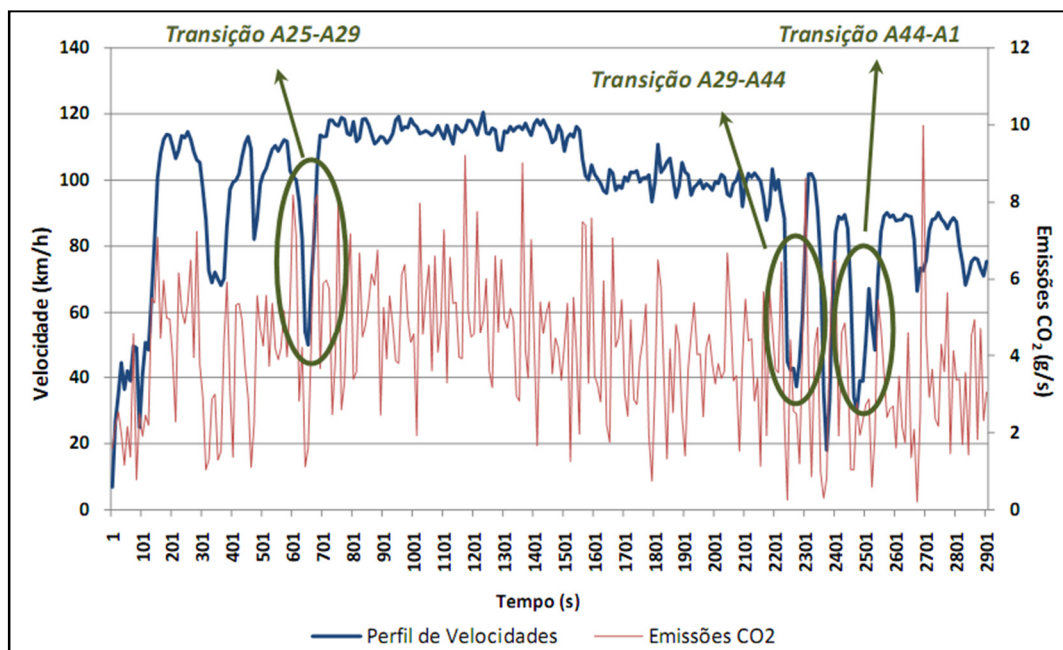


Figura 7 - Perfil típico de aceleração e emissões CO₂ CAP T2, sentido UA-Amial. (Almeida, 2010)

No que concerne ao percurso CAP T3, devido ao facto de ser um percurso efetuado maioritariamente em estrada nacional, apresenta variações a nível de velocidade e consequentes emissões associadas a diversos incidentes assim como o tráfego pedonal e sinalização luminosa. Na parte inicial e final do percurso foram percorridos pequenos troços de autoestrada o que influenciou de certa forma as emissões CO₂, como é visível na **Figura 8**.

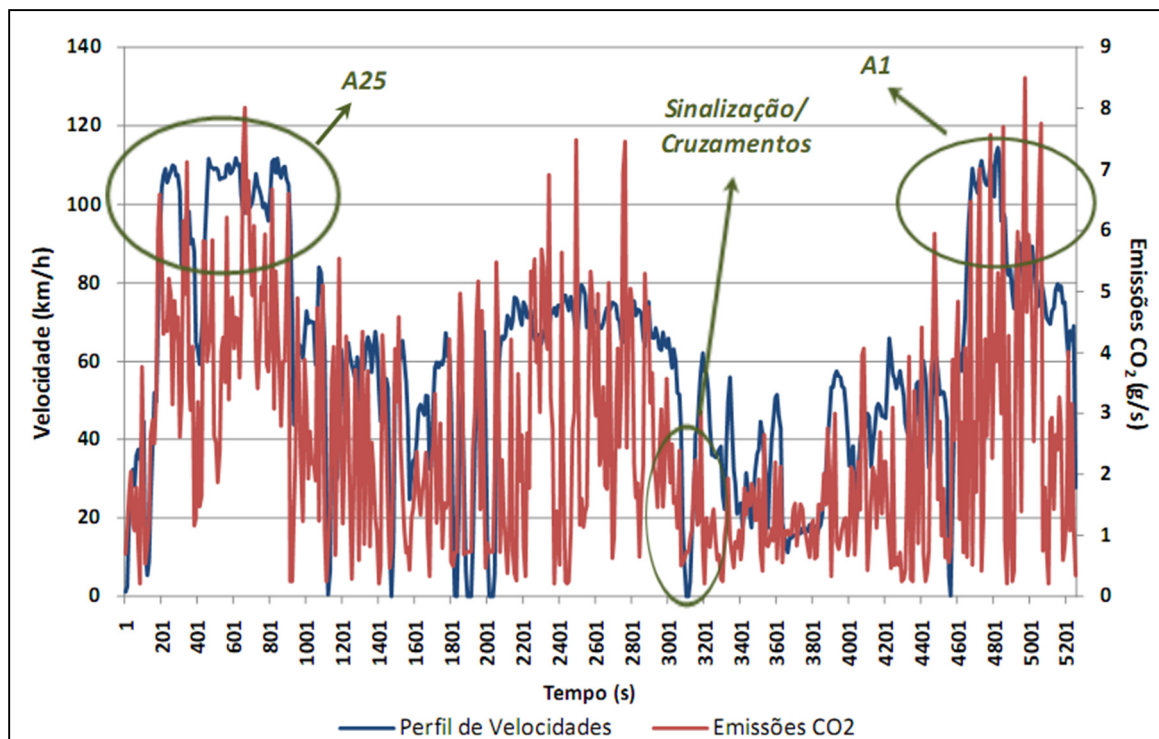


Figura 8 - Perfil típico de velocidade e emissões CO₂ no CAP T3, sentido UA-Amial (Almeida, 2010)

O Trajeto CAP T4 é efetuado pela estrada N109 até Gaia pelo que apenas 3% do percurso é realizado em autoestrada. Todo o percurso passa por diversas localidades e zonas industriais e assim sendo torna-se comum as paragens devido à sinalização luminosa e tráfego pedonal o que se reflecte ao nível do perfil de velocidade e emissões como se pode verificar pela **Figura 9**.

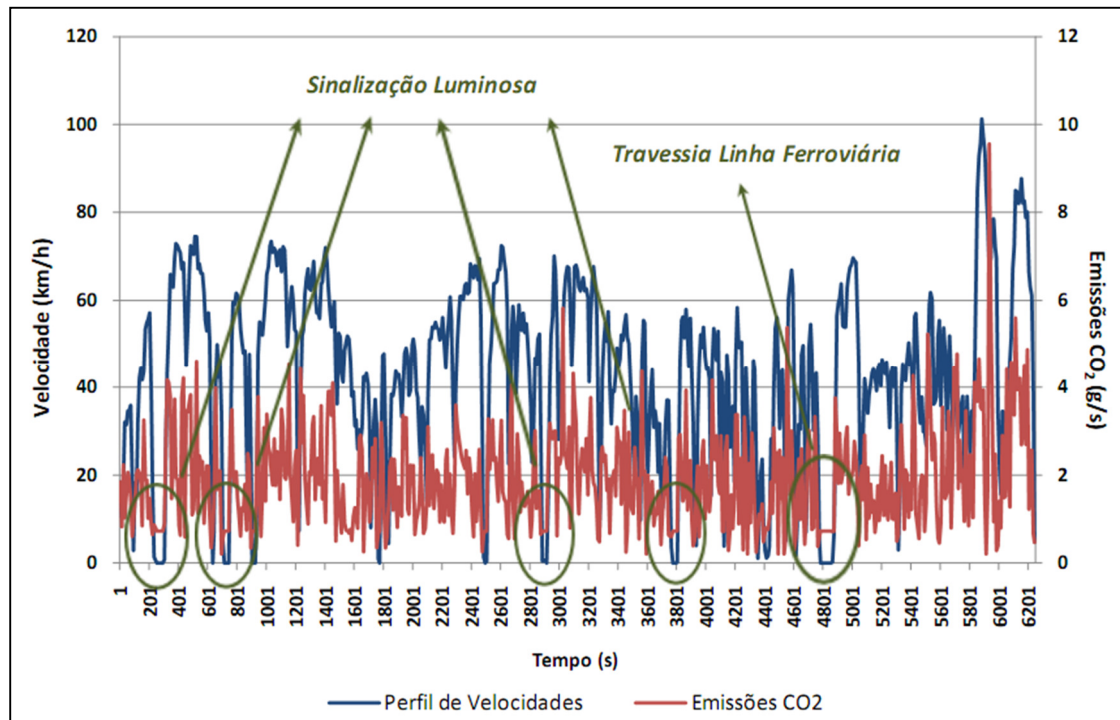


Figura 1 - Perfil típico de velocidades e emissões CO₂ do CAP T4, sentido UA-Amial (Almeida, 2010)

Relativamente à comparação entre percursos, de um modo geral, todos os trajetos mantêm um equilíbrio a nível de emissões totais. Assim sendo, o percurso CAP T3 revelou-se o mais poluente a nível de emissões de CO₂ (**Figura 10**), tal facto deve-se ao percurso ser o mais longo de todas as possibilidades.

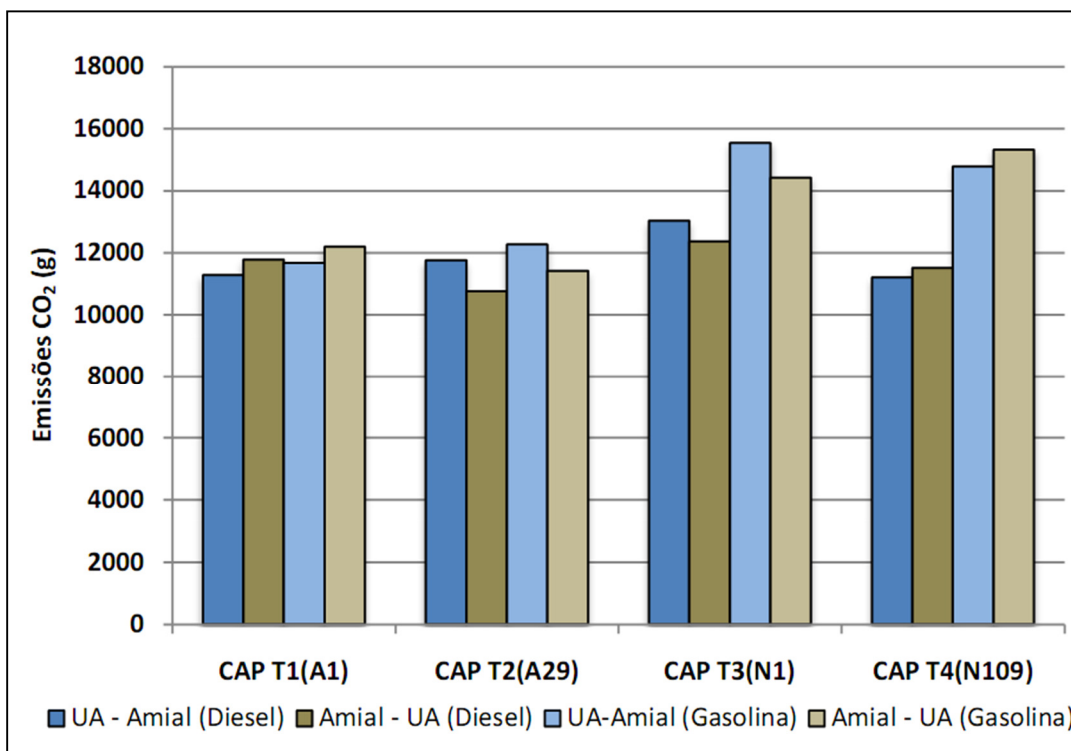


Figura 10 - Emissões médias totais de CO₂ Para o Circuito Aveiro-Porto. (Almeida, 2010)

Além do CO₂ ser um poluente com elevadas consequências ao nível das alterações climáticas, não se deve menosprezar os restantes poluentes locais como o CO, HC e NO_x que têm impacto direto na saúde da população e cujas emissões são apresentados nas figuras seguintes.

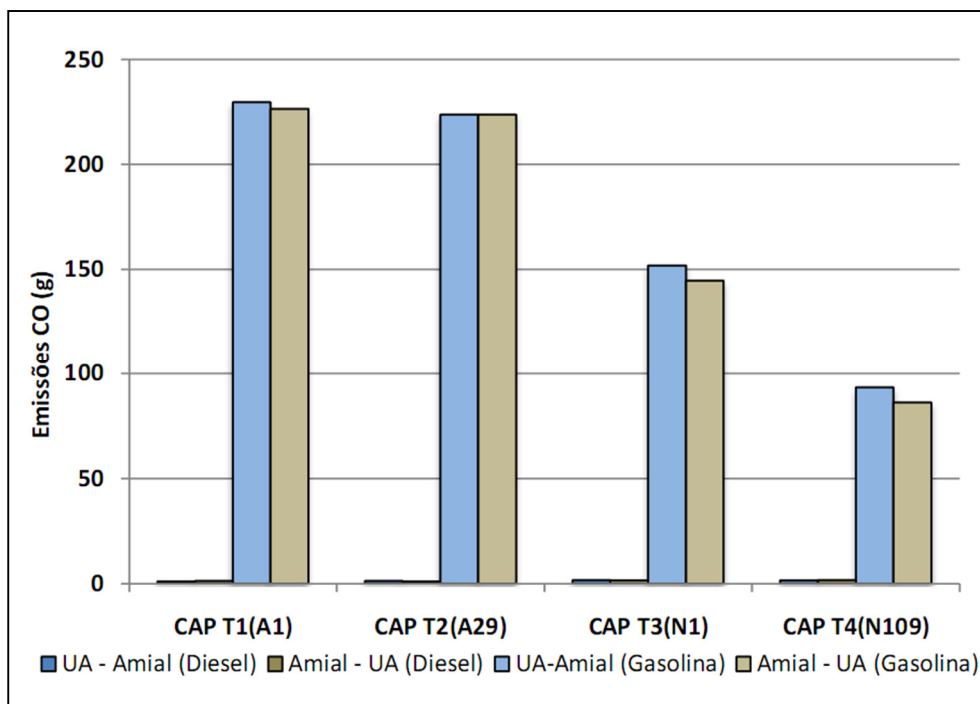


Figura 11 - Emissões médias totais de CO para o Circuito Aveiro-Porto (Almeida, 2010)

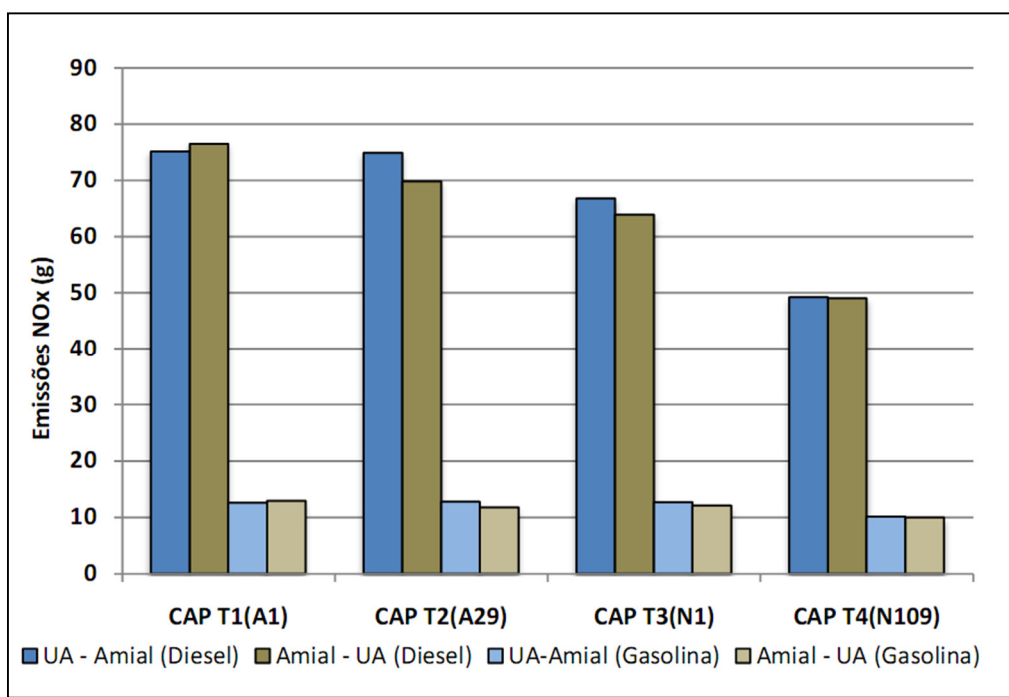


Figura 12 - Emissões médias totais de NO_x para o Circuito Aveiro-Porto. (Almeida, 2010)

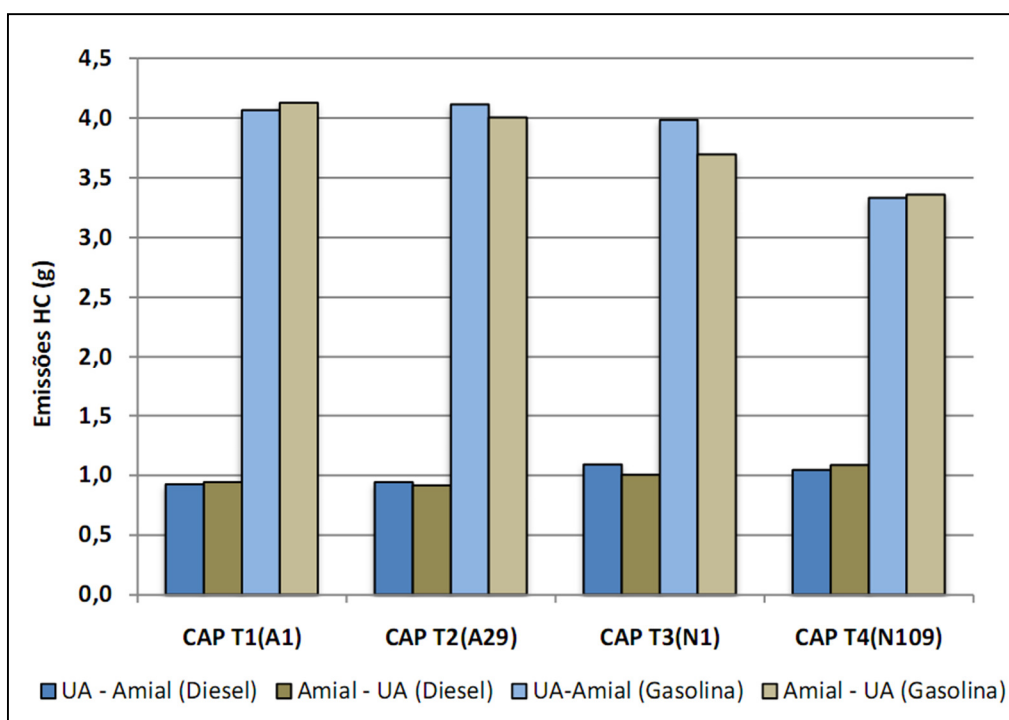


Figura 13 - Emissões médias totais de HC para o Circuito Aveiro-Porto. (Almeida, 2010)

É importante verificar que as emissões de CO, NO_x e HC, apresentam variações significativas em relação ao CAP T3, como se pode analisar na Tabela abaixo.

Tabela 4 - Comparação percentual de emissões totais dos circuitos CAP (base: CAP T3=0).
(Almeida, 2010)

	Diesel				Gasolina			
	CO ₂	CO	NO _x	HC	CO ₂	CO	NO _x	HC
CAP T3/CAP T1(%)	10	36	-14	13	24	-35	-3	-6
CAP T3/CAP T2(%)	13	35	-10	13	26	-34	1	-5
CAP T3/CAP T4(%)	13	1	33	0	1	66	24	15

De forma mais objectiva, da tabela anterior destaca-se o seguinte:

- ✓ As emissões de CO₂ do CAP T3 são superiores entre 10% e 26% face aos restantes, com particular ênfase face a CAP T1 e CAP T2 em viaturas a gasolina;
- ✓ Em relação ao CO e HC, as emissões totais são praticamente idênticas entre CAP T3 e CAP T4 em viaturas a diesel, sendo mais penalizadora para o primeiro utilizando viaturas a gasolina;
- ✓ CAP T3 apresenta menores emissões de NO_x face a CAP T1 e CAP T2 mas superiores face a CAP T4 (entre 24 e 33%);

Almeida (2010) efectuou uma análise de emissões por quilómetro para cada percurso e verificou que para veículos a diesel existe um equilíbrio no que toca a emissões de CO₂.

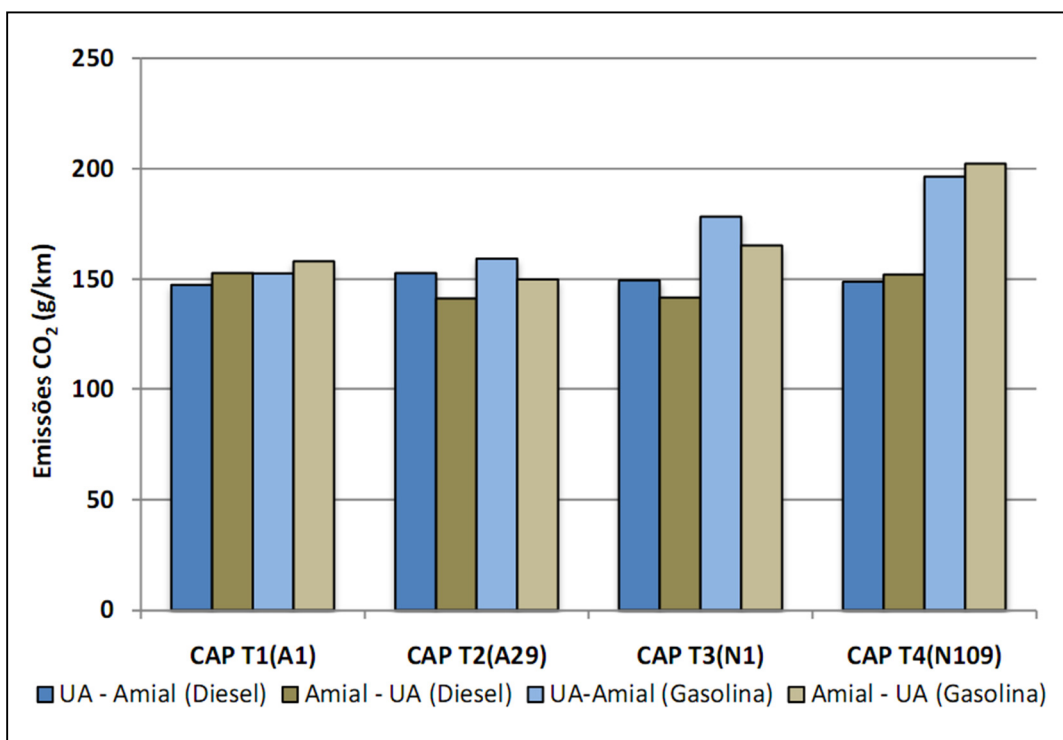


Figura 2 - Emissões médias por quilómetro de CO₂ para o Circuito Aveiro-Porto (Almeida, 2010)

Tendo como referência o trajeto CAP T4, na tabela abaixo compara-se percentualmente todos os percursos:

Tabela 1 - Comparação percentual de emissões médias por quilómetro dos circuitos CAP (base: CAP T4=0). (Almeida, 2010)

	Diesel				Gasolina			
	CO ₂	CO	NOx	HC	CO ₂	CO	NOx	HC
CAP T4/CAP T1(%)	-1	38	-34	14	26	-60	-20	-17
CAP T4/CAP T2(%)	1	36	-31	15	27	-60	-17	-16
CAP T4/CAP T3(%)	2	15	-13	16	15	-31	-7	1

Verifica-se então o seguinte:

- ✓ O percurso CAP T4 é o mais penalizador do ponto de vista do CO para viaturas a diesel (entre 15% e 38%) e simultaneamente o menos penalizador para viaturas a gasolina;
- ✓ CAP T4 é o circuito mais vantajoso em termos de emissão de NO_x por quilómetro, principalmente face às alternativas em autoestrada (-31% a -60%);
- ✓ Em relação ao HC, tal como se verifica para o CO, o desempenho de CAP T4 face à concorrência é função do tipo de combustível em questão, sendo menos penalizador em viaturas a gasolina;

Recorrendo à tabela exposta abaixo, o trajeto CAP T1 verifica-se o mais rápido, não obstante do trajeto CAP T2. É de relembrar que o trajeto CAP T1 e CAP T2 são efetuados em autoestrada com velocidades limitadas até 120 Km/h.

Tabela 2 - Durações médias dos percursos CAP, em minutos. (Almeida, 2010)

CAP T1	UA-AMIAL	47,3	MÉDIA	47,6
	AMIAL-UA	47,8		
CAP T2	UA- AMIAL	50,9	MÉDIA	48,6
	AMIAL -UA	47,0		
CAP T3	UA- AMIAL	82,1	MÉDIA	79,7
	AMIAL -UA	77,2		
CAP T4	UA- AMIAL	97,4	MÉDIA	97,0
	AMIAL -UA	96,6		

A análise da tabela acima revela que face a CAP T1, quem optar por estradas nacionais demorará mais 67,5% pelo CAP T3 e mais 104% pelo CAP T4.

Anexo II – Comparação dos percursos CUA no sentido Taboeira-UA em hora de vazio e em hora de ponta

Nas figuras abaixo verificam-se as emissões totais dos percursos CUA no sentido Taboeira-UA. Optou-se apresentar os dados organizados por sentido uma vez que se verificam algumas diferenças destacáveis assim como a quantificação de emissões totais e a diminuição de alguns poluentes com a hora de ponta.

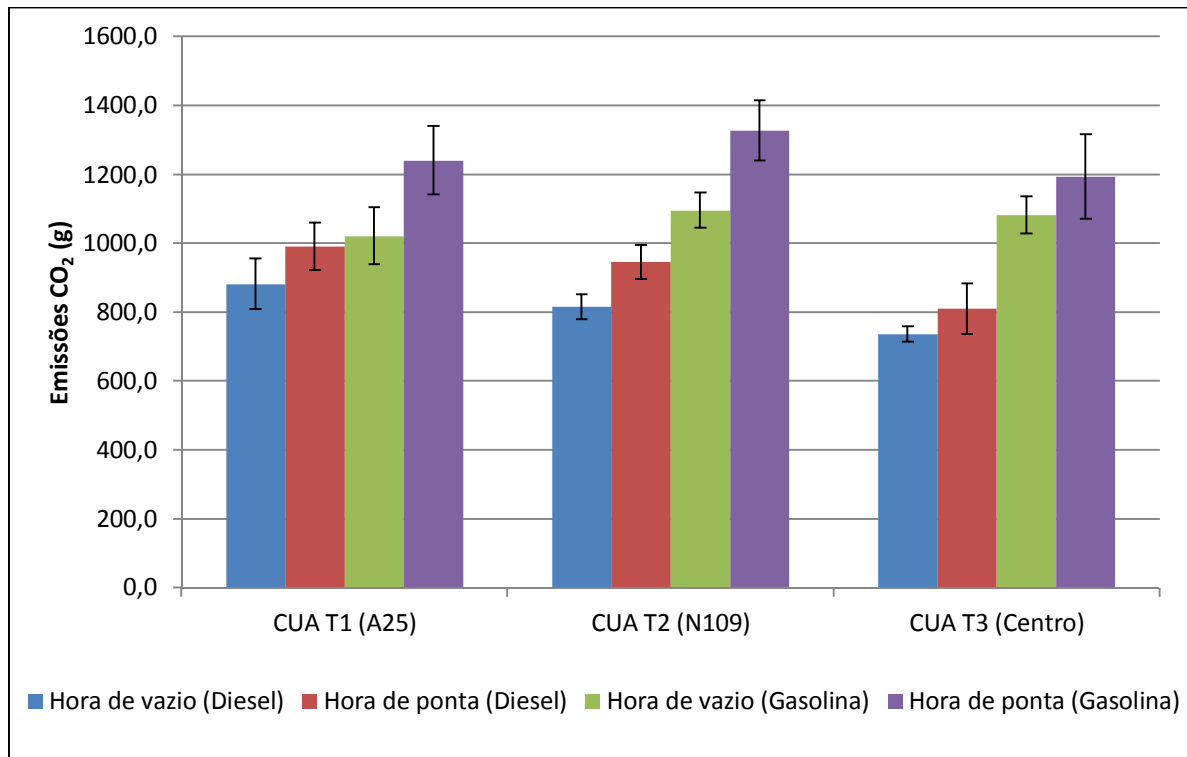


Figura 1 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões CO₂ dos percursos CUA no sentido Taboeira-UA.

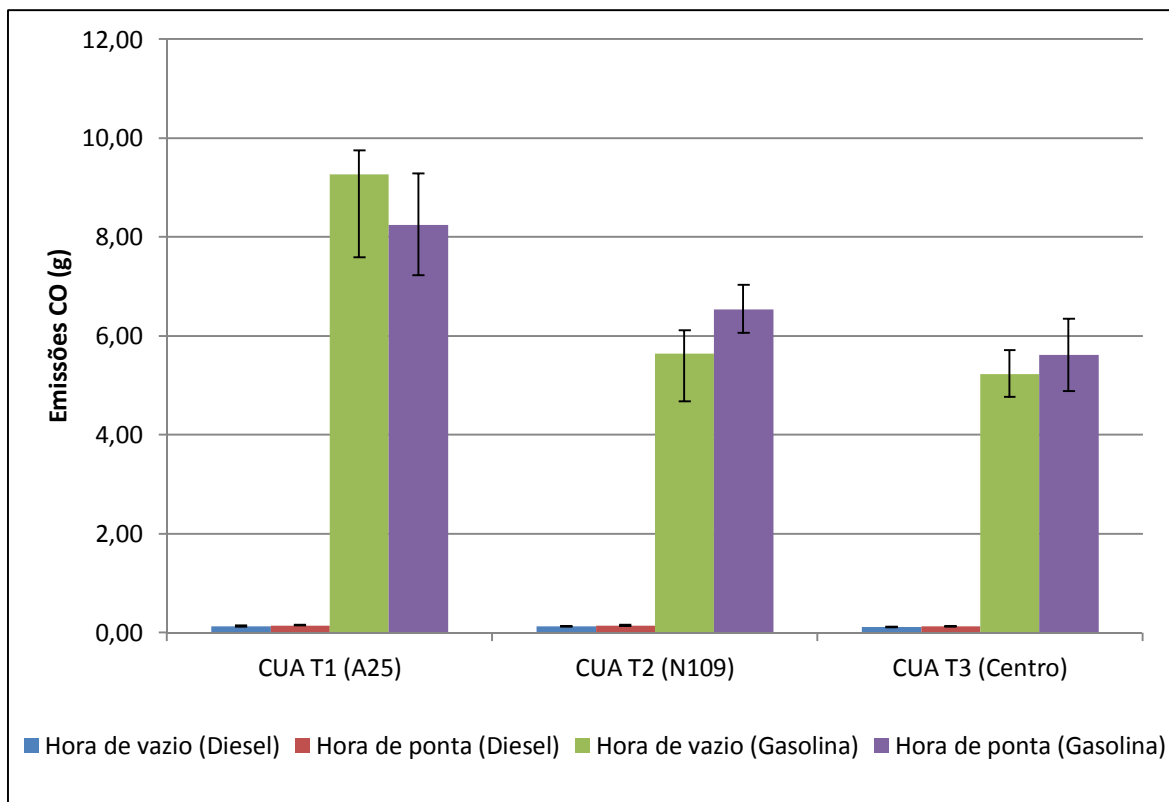


Figura 2 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões CO dos percursos CUA no sentido Taboeira-UA.

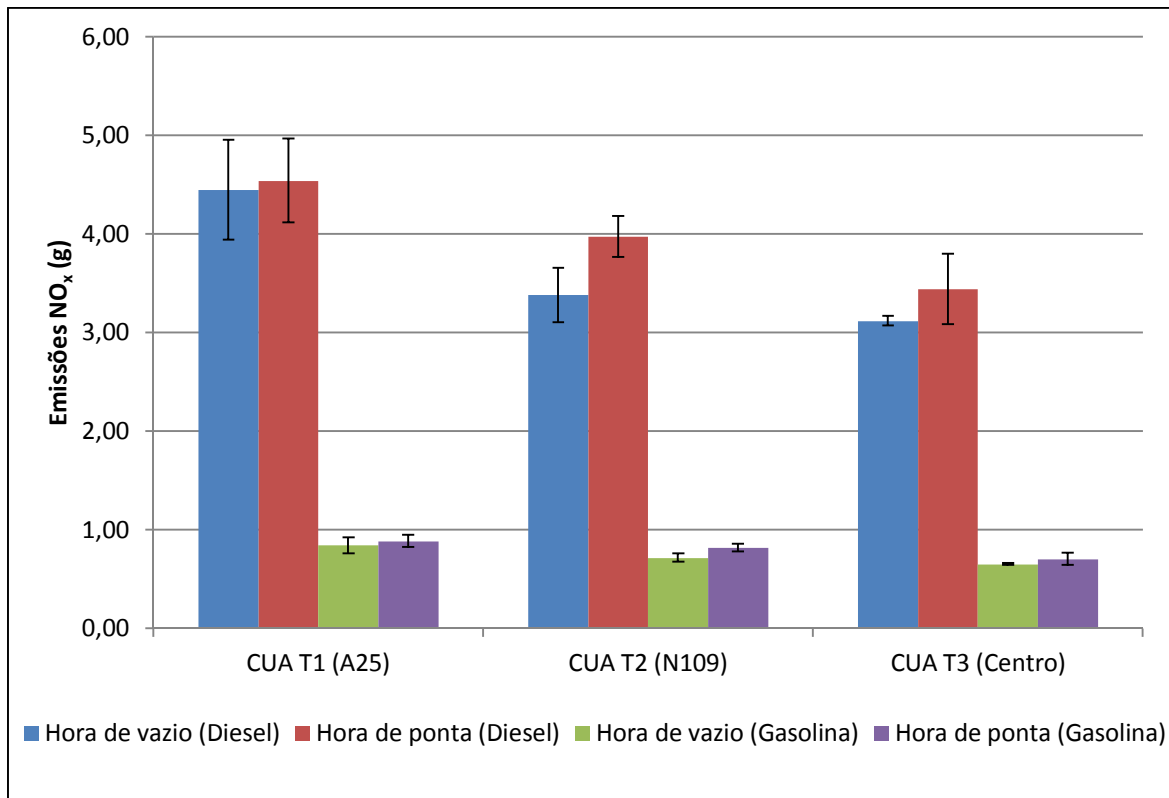


Figura 3 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões NO_x dos percursos CUA no sentido Taboeira-UA.

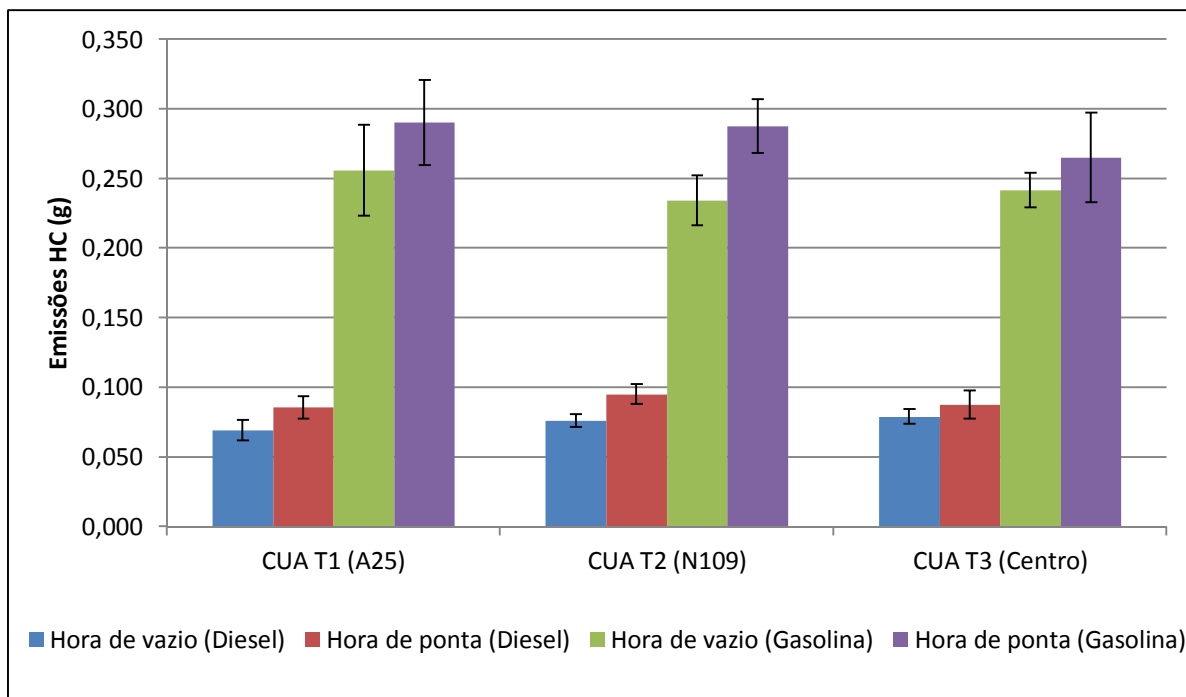


Figura 4 - Comparação entre hora de vazio e hora de ponta para emissões HC dos percursos CUA no sentido Taboeira-UA.

Ao analisar as figuras anteriores verifica-se de modo geral que as emissões em hora de ponta aumentam exceto as emissões de CO no percurso CUA T1 que é efectuada em autoestrada e a diferença de condutor influencia as emissões de CO devido às acelerações. Em termos gerais pode-se afirmar que o CUA T1 continua a ser o percurso com mais impacto a nível ambiental mesmo em hora de ponta, exceptuando para veículos a gasolina, em que as emissões de CO₂ são maiores no CUA T2.

Anexo III – Emissões nos circuitos CUA em hora de ponta e em hora de vazio

SENTIDO UA-TABOEIRA				
	Diesel		Gasolina	
	CO ₂	ERRO CO ₂	CO ₂	ERRO CO ₂
CUA T1	1108,4	42,7	1317,8	42,2
CUA T2	982,9	34,7	1287,9	40,8
CUA T3	866,9	91,1	1231,6	144,3
	CO	ERRO CO	CO	ERRO CO
CUA T1	0,16	0,01	9,84	2,12
CUA T2	0,15	0,01	6,50	0,78
CUA T3	0,14	0,02	5,58	0,42
	NO _x	ERRO NO _x	NO _x	ERRO NO _x
CUA T1	5,18	0,60	1,03	0,07
CUA T2	4,03	0,23	0,84	0,04
CUA T3	3,57	0,38	0,73	0,05
	HC	ERRO HC	HC	ERRO HC
CUA T1	0,087	0,005	0,306	0,027
CUA T2	0,088	0,003	0,272	0,014
CUA T3	0,089	0,013	0,268	0,044
SENTIDO TABOEIRA-UA				
	Diesel		Gasolina	
	CO ₂	ERRO CO ₂	CO ₂	ERRO CO ₂
CUA T1	881,9	73,3	1021,5	83,3
CUA T2	815,7	36,1	1095,6	50,8
CUA T3	736,8	21,6	1082,0	53,5
	CO	ERRO CO	CO	ERRO CO
CUA T1	0,13	0,01	9,27	1,68
CUA T2	0,12	0,00	5,64	0,97
CUA T3	0,11	0,00	5,24	0,47
	NO _x	ERRO NO _x	NO _x	ERRO NO _x
CUA T1	4,45	0,51	0,84	0,08
CUA T2	3,38	0,28	0,72	0,04
CUA T3	3,12	0,05	0,65	0,01
	HC	ERRO HC	HC	ERRO HC
CUA T1	0,069	0,007	0,256	0,033
CUA T2	0,076	0,005	0,234	0,018
CUA T3	0,079	0,005	0,242	0,012

Tabela 1- Emissões totais (em gramas) nos circuitos CUA em hora de vazio e em ambos os sentidos.

SENTIDO UA-TABOEIRA				
	Diesel		Gasolina	
	CO ₂	ERRO CO ₂	CO ₂	ERRO CO ₂
CUA T1	1131,0	42,2	1373,8	46,4
CUA T2	1103,6	52,0	1474,2	87,3
CUA T3	925,9	53,0	1306,4	82,6
	CO	ERRO CO	CO	ERRO CO
CUA T1	0,17	0,01	9,88	1,58
CUA T2	0,17	0,01	7,52	0,88
CUA T3	0,14	0,01	6,42	0,58
	NO _x	ERRO NO _x	NO _x	ERRO NO _x
CUA T1	5,28	0,46	1,03	0,06
CUA T2	4,62	0,29	0,93	0,04
CUA T3	3,91	0,24	0,79	0,04
	HC	ERRO HC	HC	ERRO HC
CUA T1	0,093	0,005	0,318	0,020
CUA T2	0,104	0,007	0,327	0,024
CUA T3	0,095	0,007	0,291	0,023
SENTIDO TABOEIRA-UA				
	Diesel		Gasolina	
	CO ₂	ERRO CO ₂	CO ₂	ERRO CO ₂
CUA T1	991,0	69,3	1241,0	99,3
CUA T2	945,6	49,8	1327,2	87,9
CUA T3	810,0	72,8	1193,2	122,3
	CO	ERRO CO	CO	ERRO CO
CUA T1	0,15	0,01	8,25	1,03
CUA T2	0,14	0,01	6,55	0,48
CUA T3	0,12	0,01	5,62	0,73
	NO _x	ERRO NO _x	NO _x	ERRO NO _x
CUA T1	4,54	0,43	0,88	0,06
CUA T2	3,98	0,21	0,82	0,04
CUA T3	3,44	0,36	0,70	0,06
	HC	ERRO HC	HC	ERRO HC
CUA T1	0,086	0,008	0,290	0,031
CUA T2	0,095	0,007	0,288	0,019
CUA T3	0,088	0,010	0,265	0,032

Tabela 2- Emissões totais (em gramas) nos circuitos CUA em hora de ponta e em ambos os sentidos.

Anexo IV – Emissões nos circuitos CUA em hora de ponta e em hora de vazio

HORA DE VAZIO				
	Diesel		Gasolina	
	CO ₂	ERRO CO ₂	CO ₂	ERRO CO ₂
CAP T1	11455,7	412,0	11803,6	424,5
CAP T2	11257,8	1013,5	11836,3	870,8
CAP T3	12694,3	702,4	14985,0	1164,7
CAP T4	11361,0	649,4	15054,4	952,7
	CO	ERRO CO	CO	ERRO CO
CAP T1	1,5	0,1	208,8	88,4
CAP T2	1,5	0,2	223,8	12,6
CAP T3	1,8	0,1	148,3	9,8
CAP T4	1,7	0,1	89,8	8,0
	NO _x	ERRO NO _x	NO _x	ERRO NO _x
CAP T1	71,7	17,0	12,3	1,9
CAP T2	72,4	5,4	12,3	1,0
CAP T3	65,4	3,6	12,4	0,7
CAP T4	49,1	2,3	10,0	0,5
	HC	ERRO HC	HC	ERRO HC
CAP T1	0,9	0,1	3,9	0,9
CAP T2	0,9	0,0	4,1	0,1
CAP T3	1,0	0,1	3,8	0,3
CAP T4	1,1	0,1	3,3	0,2
HORA DE PONTA				
	Diesel		Gasolina	
	CO ₂	ERRO CO ₂	CO ₂	ERRO CO ₂
CAP T1	11592,8	193,4	12240,3	264,2
CAP T2	11337,1	371,0	12162,4	368,1
CAP T3	13273,0	459,0	16182,4	745,7
CAP T4	11559,2	514,9	15932,7	820,3
	CO	ERRO CO	CO	ERRO CO
CAP T1	1,6	0,0	207,3	13,0
CAP T2	1,5	0,1	216,2	15,1
CAP T3	1,9	0,1	144,9	14,1
CAP T4	1,8	0,1	82,8	4,7
	NO _x	ERRO NO _x	NO _x	ERRO NO _x
CAP T1	71,6	2,3	12,3	0,2
CAP T2	70,5	2,7	12,1	0,4
CAP T3	66,0	2,3	12,6	0,4
CAP T4	48,8	1,9	9,7	0,3
	HC	ERRO HC	HC	ERRO HC

CAP T1	0,9	0,0	4,0	0,2
CAP T2	0,9	0,0	4,1	0,2
CAP T3	1,1	0,0	4,0	0,2
CAP T4	1,2	0,1	3,5	0,2

Tabela 1 – Emissões totais (em gramas) dos percursos CAP.